

Jere Muotio

Jäysteenpoiston suunnittelu

Componenta Oy Kurikka

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Jere Muotio

Työn nimi: Jäysteenpoiston suunnittelu

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2020

Sivumäärä: 73

Liitteiden lukumäärä: 0

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Componenta Manufacturing Oy Machining Kurikka, joka on yksi neljästä Componentan koneistusyksiköstä Suomessa. Konserni on suomalainen metallikomponenttien sopimusvalmistaja. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Kurikan koneistusyksikön näkökulmasta taloudellisin ja tehokkain jäysteenpoistomenetelmä uusille teräslohkoille. Nykyinen jäysteenpoisto suoritetaan manuaalisesti, mikä on aikaa vievää ja synnyttää nopeasti pullonkaulan tuotantoon.

Jäysteenpoistomenetelmien tutkiminen alkoi perehtymisellä jäysteen ja lastun syntymiseen ja muodostumiseen teräslohkoissa. Myös niiden aiheuttamiin ongelmiin perehdyttiin syvällisesti. Tämän jälkeen tutkittiin menetelmiä, jotka kykynevät jäystämään kierteitä vahingoittamatta niitä sekä risteäviä reikiä. Lastuavassa työstössä erityisesti porauksessa ja jyrsinnässä syntyy usein isoja ja hankalasti poistettavia jäysteitä. Niitä muodostuu reikien suulle, risteäviin reikiin, sisään- ja ulostulokohtiin ja kappaleiden reunoille. Yleisin jäysteenpoistomenetelmä on manuaalinen jäysteenpoisto sen alhaisten kustannusten ja vähäisen tekniikan tarpeen ansiosta. Robotisoidun ja termisen jäysteenpoiston käyttö on yleistynyt teollisuuden automatisoitumisen myötä. Jäysteiden muodostumisen ymmärtäminen ja niiden erilaiset esiintymismuodot helpottivat työssä tutkittujen menetelmien valintaa. Menetelmistä laadittiin matriisi, jossa arvioitiin ja pisteytettiin eri menetelmien kyvykyys suoriutua tuotantoon tulevien teräslohkojen jäystämisestä. Matriisissa mitattiin yrityksen näkökulmasta tärkeitä asioita jäysteenpoistossa, mikä helpotti sopivan jäysteenpoistomenetelmän valinnassa.

Opinnäytetyö rajattiin kuuteen jäysteenpoistomenetelmään, jotka kykynevät jäystämään sisäpuolisia geometrioita, joista kolme valittiin matriisin avulla lähempään tarkasteluun yrityksessä. Opinnäytetyön tuloksena syntyi kolme mahdollista menetelmävaihtoehtoa, jotka ovat terminen, robotisoitu ja koneistuskeskuksessa tapahtuva jäysteenpoisto. Menetelmän valintaan eniten vaikuttavat tekijät olivat taloudellisuus, jäystämisprosessin tarkkuus, komponenttien jäysteettömyys prosessin jälkeen ja jäystettävien komponenttien läpimenoaika.

Avainsanat: poraus, hionta, jyrsintä, lastuava työstö, robotiikka

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Jere Muotio

Title of thesis: Planning deburring

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2020

Number of pages: 73

Number of appendices: 0

The thesis was made for Componenta Manufacturing Oy Machining Kurikka, which is one of four Componenta's machining units in Finland. The Group is a Finnish contract manufacturer of metal components.

The purpose of the thesis was to find out the most economical and efficient deburring method for new steel blocks from the perspective of the Kurikka machining unit. The current deburring is performed manually, which is time consuming and quickly creates a bottleneck in production.

The study of deburring methods began with an introduction to the formation of burrs and chips in steel blocks. The problems they caused were also studied in depth. Methods that would likely be able to deburr threads and intersecting holes without damaging them, were then investigated. In machining, especially in drilling and milling, large and difficult-to-remove burrs often form. They are formed at the mouths of the holes, the intersecting holes, the entry and exit points, and the edges of the pieces. The most common deburring method is manual deburring due to its low cost and low technical requirements. The use of robotic and thermal deburring has become more common with increasing automatization.

Understanding the formation of burrs and their different forms of occurrence facilitated the choice of methods studied in the work. A matrix of methods was developed, where the ability of different methods to perform deburring of steel blocks entering production was evaluated and scored. The matrix measured important issues in deburring from the company's point of view, which facilitated the selection of a suitable deburring method. The thesis found six methods which would be capable of deburring internal geometries, three of which were selected using a matrix for closer examination in the company.

As a result of the thesis, three possible method alternatives emerged, which were thermal, robotic and machining center deburring. The factors most influencing the choice of method were economy, accuracy of the deburring process, burr free components after the process, and the lead time of the components to be deburred.

Keywords: burr, flash, deburring, machining, robotics

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	10
1 JOHDANTO.....	11
1.1 Opinnäytetyön tausta	11
1.2 Työn tavoitteet & rajaus.....	11
1.3 Työn rakenne	11
1.4 Yritysesittely	12
2 JÄYSTE JA SEN POISTO	15
2.1.1 Lastuamisprosessi	16
2.1.2 Poissoninjäyste	17
2.1.3 Sisääntulojäyste	19
2.1.4 Repeytyväjäyste.....	19
2.1.5 Lastun kiertymisestä syntyviä jäysteitä	20
2.1.6 Porausjäyste	22
2.1.7 Jäysteiden aiheuttamia häiriöitä.....	24
2.1.8 Jäystämismenetelmään vaikuttavat tekijät	25
2.2 Manuaalinen jäysteenpoisto.....	25
2.2.1 Manuaaliset jäysteenpoistontyökalut.....	26
2.2.2 Menetelmän rajoitukset & haitat.....	27
2.2.3 Menetelmän hyödyt.....	27
2.2.4 Menetelmän soveltuvuus teräsllohkojen jäystämiseen	28
2.3 Robotisoitu jäysteenpoisto	28
2.3.1 Jäysteenpoistorobottien valmistajat	31
2.3.2 Menetelmän hyödyt & rajoitukset	32
2.3.3 Robotin soveltuvuus teräsllohkojen jäystämiseen.....	32
2.4 Terminen jäysteenpoisto	34
2.4.1 Menetelmän rajoitukset.....	35

2.4.2	Menetelmän hyödyt.....	36
2.4.3	Menetelmän soveltuvuus teräslohkojen jäystämiseen	37
2.4.4	Termisen jäysteenpoistoprosessin jälkeinen pesu	38
2.5	Abrasiivinen virtausmenetelmä (AFM).....	39
2.5.1	Abrasiivinen virtaus menetelmän toimintaperiaate	40
2.5.2	Hiovat nesteet	41
2.5.3	Menetelmän rajoitukset & hyödyt	42
2.5.4	Menetelmän soveltuvuus teräslohkojen jäystämiseen	42
2.6	Vesijäysteenpoisto	43
2.6.1	Korkeapaineinen vesijäysteenpoisto	44
2.6.2	Menetelmän rajoitukset & hyödyt	44
2.6.3	Menetelmän soveltuvuus teräslohkojen jäystämiseen	45
2.7	Jäysteenpoisto koneistuskeskuksessa.....	46
2.7.1	Mekaaninen särmien profilointi (MEP)	47
2.8	Jäysteenpoistotyökalut koneistuskeskuksessa & robotissa.....	48
2.8.1	Menetelmän soveltuvuus teräslohkojen jäystämiseen	48
2.8.2	Keraamiset harjat & kivet reikien viimeistelyyn ja risteävien reikien jäysteenpoistoon	49
2.8.3	Xebec kovametalliset pallopääjyrsimet	51
2.8.4	Joustavat työkalut koneistuskeskukseen	52
2.8.5	Robotisoidussa jäysteenpoistossa käytettävät työkalut.....	54
2.8.6	Reikien & onkaloiden jäysteenpoistotyökalut	54
2.8.7	Jyrsinterät, taipuvat pallopääjyrsimet & jäysteenpoistoveitset.....	56
2.8.8	Harjat, putkiharjat & nauhahiomatyökalut.....	57
2.8.9	Karamoottorin valinta robotisoituun jäysteenpoistoon	59
3	INVESTOINILASKENTA.....	60
3.1	Takaisinmaksulaskenta	60
3.2	Sisäinen korkokanta	61
3.3	Laatu ja muut kannattavuuden tekijät.....	62
4	TULOKSET	63
5	YHTEENVETO	66
	LÄHTEET	68
	LIITTEET	73

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Jäystämätön & Jäystetty teräslohko.....	15
Kuva 2. Lastunmuodostusmalleja 1) Piispasen ja Merchantin 2) Leen ja Shafterin mukaan (Andersson 1993, 11).....	16
Kuva 3 Senkkausterä & Jäysteveitsi (Würth Oy 2020).....	26
Kuva 4 Viilausterä mallisto (Karnasch 2020).....	26
Kuva 5 Fastems jäysteenpoistosolu (Fastems 2020).....	29
Kuva 6 Yaskawa moniakselinen hitsaussolu (Yaskawa 2020).....	30
Kuva 7 Eri valmistajien teollisuusrobotteja (Manganorobot 2020).....	31
Kuva 8. Jäysteenpoistouuni T350 (Extrude Hone 2016).....	38
Kuva 9. Finnsonic Optima ultraäänipesulinjasto. (FinnSonic 2016).	39
Kuva 10. HPWD JCC 603 Robo (Sugino Corp 2020).	46
Kuva 11. MEP-työkalu (Seco Tools Oy 2020).....	47
Kuva 12. Xebec keraaminen harja (Oy FMS-Tools Ab 2020).	49
Kuva 13. Xebecin keraaminen harja ulkopuoliseen jäystämiseen (Oy FMS-Tools Ab 2020).	50
Kuva 14. Keraaminen kiekko harja (Oy FMS-Tools Ab 2020).....	50
Kuva 15. BRM Flex-Hone® (Brush Research Manufacturing Co. 2020).....	51
Kuva 16. Keraamiset viimeistelykivet sisäpuoliseen jäysteenpoistoon (Oy FMS-Tools Ab 2020).....	51
Kuva 17. Xebec kovamettali pallopääjyrsimet (Oy FMS-Tools Ab 2020).....	52
Kuva 18. FDT SX0 (Aks Teknik Deburring And Marking Technologies. 2020).	53

Kuva 19. Sugino Barriquan BC10-20 jäysteenpoistotyökalu (Sugino Corp 2020).	54
Kuva 20. Pyykkipojan tyylinen jäysteenpoistotyökalu (Whitney Tool Company 2020).....	55
Kuva 21. Reiän jäystämiseen tarkoitettu erikoistyyökalu (Whitney Tool Company 2020).....	55
Kuva 22. Viilat ja jyrsimet robotisoituun jäysteenpoistoon (ATI Industrial Automation 2020).....	56
Kuva 23. Robotin työkalukarassa käytetty jäysteenpoistoveitsi (ATI Industrial Automation 2020).....	56
Kuva 24. Taipuisat pallopääjyrsimet (Lestoprex AG 2020).	57
Kuva 25. Pöytään asennetut jäysteenpoistoharjat (Acme Manufacturing Co 2020).	58
Kuva 26. Jäystenpoistoharja robottiin (ATI Industrial Automation 2020).....	58
Kuva 27. Teräslangasta ja messingistä valmistetut putkiharjat (Hoffmann Group GmbH 2020).	58
Kuvio 1. Componentan yrityshistoria (Componenta yritysesittely 2020).	12
Kuvio 2. Componenta Oy tilinpäätöstiedot ja yhtiön toimipaikat (Componenta yritysesittely 2020).	13
Kuvio 3. Koneistuspalveluiden kyvykkyydet jyrsittäville kappaleilla (Componenta yritysesittely 2020).	14
Kuvio 4. Poissoninjäysteen muodostuminen (Min & Dornfeld 2004, 16).	18
Kuvio 5. Poissoninjäysteen muodostuminen (mukaillen Gillespie 1999, 53).	18
Kuvio 6. Terän aiheuttama sisääntulojäyste (mukaillen Gillespie 1999, 53).	19

Kuvio 7. Repeytyväjäyste (mukaillen Gillespie 1999, 54).....	20
Kuvio 8. Lastuamiassyvytydet jysintä (Sandvik 2020b).....	20
Kuvio 9. Lastuamissyvyys sorvaus (Sandvik 2020b).	21
Kuvio 10. Kiertojäysteen muodostuminen (mukaillen Min & Dornfeld 2004, 16)...	21
Kuvio 11. Terägeometria (Andersson 1993, 10).	22
Kuvio 12. Porausjäysteen muodostuminen reiän sisäänmenokohtaan (Gillespie 1999, 62).....	23
Kuvio 13. Poran poistuessa työstettävästä kappaleesta muodostuva porausjäyste (Gillespie 1999, 62).....	23
Kuvio 14. Porausjäysteen muodostumisen vaiheet (mukaillen Dornfeld 2004, 9).	24
Kuvio 15. Termisen jäysteenpoistouunin osat (mukaillen Extrude Hone 2016).....	34
Kuvio 16. Jäysteen palaminen (Extrude Hone 2016).	34
Kuvio 17. Jäysteenpoistouunin kammion koot (Extrude Hone 2016).	36
Kuvio 18. Yksisuuntainen AFM toimintaperiaate (mukaillen Ravi ym. 2011, 2).....	40
Kuvio 19. Kaksisuuntainen AFM toimintaperiaate (mukaillen Ravi ym. 2011, 1)...	41
Kuvio 20. Kiertävä AFM toimintaperiaate (mukaillen Ravi ym. 2011, 2).....	41
Kuvio 21. Kiekkoharjan käyttökohteita (Oy FMS-Tools Ab 2020).....	50
Kuvio 22. Pallopääjyrsimen käyttökohteita (Kemet International Limited 2019). ...	52
Kuvio 23. Havainnekuva FDT SX0:n radiaalisesta joustosta (Aks Teknik Deburring And Marking Technologies. 2020).	53
Kuvio 24. Pyykkipoikatyökalun toimintaperiaate (Whitney Tool Company 2020)..	55
Kuvio 25. Erikoistyyökalun toimintaperiaate (Whitney Tool Company 2020).	55

Taulukko 1 Jäysteenpoistomenetelmän valintamatriisi.	64
---	----

Käytetyt termit ja lyhenteet

Jäyste	Jäyste on lastuavassa työstössä työkappaleen särmiin plastisen muodonmuutoksen seuraksena syntynyt ei-toivottu materiaalimuodostuma.
Purse	Puristus- ja valukappaleissa muotin liitoksen väliin jäävä liika aine.
Meistaus	Metallikappaleiden käsittelyyn käytetty menetelmä, jossa viimeistellään meistiä käyttämällä käsiteltävänä oleva metalli leikkaamalla tai puristamalla se haluttuun muotoon.
CAM	Tietokoneavusteinen valmistus.
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu.
Absorboida	Jokin aine tai materiaali sitoo esimerkiksi lämpöä itseensä
HPWD	High-pressure water deburring; Korkeapaineinen vesijäysteenpoisto.
MEP	Mekaaninen särmien profilointi.
AFM	Abrasiivinen virtausmenetelmä.

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Componenta Manufacturing Oy Machining Kurikka, joka on yksi neljästä Componentan koneistusyksiköstä Suomessa. Työ sai alkunsa tarpeesta, joka on syntynyt uusien teräslohkojen tuoteryhmässä. Tällä hetkellä uusien teräslohkojen viimeistelyn on toteuttanut koneistajat manuaalisesti, eli jäysteet on poistettu käsityökaluilla. Se vie aikaa koneistajilta ja muodostaa näin ollen pullonkaulan tuotantoon, kun koneistajien on lopetettava muut tuotannon työt teräslohkojen viimeistelyä varten. Jäysteenpoiston tuomat haasteet ovat teräslohkojen tarkat laatukriteerit, jotka vaativat kappaleiden jäysteettömyyden ja puhtauden. Suurimmaksi ongelmaksi jäysteenpoistossa muodostuu kappaleiden risteävät poraukset ja kierteet, mikä hankaloittaa jäysteiden poistoa merkittävästi.

1.2 Työn tavoitteet & rajaus

Tavoitteena on tutkia erilaisia vaihtoehtoja jäysteenpoistoon teräslohkoista mahdollisemman taloudellisesti ja kustannustehokkaasti. Jäysteenpoistolaitteen on kyettävä operoimaan itsenäisesti ja sen pitäisi olla automatisoitu, mikä vapauttaa henkilöstöresursseja käytettäväksi muihin tuottavampiin työkohteisiin. Tavoitteena on myös tutkia erilaisia jäysteenpoistotyökaluja ja niiden mahdollisuuksia jäystää teräslohkoja. Työssä tutkitaan myös erilaisia jäysteenpoistomenetelmiä, niiden soveltuvuuksia jäystää teräslohkoja sekä niiden hyötyjä ja haittoja. Työn lopussa perehdytään investointilaskennan teoriaan. Opinnäytetyö rajattiin kuuteen jäysteenpoistomenetelmään, jotka kykenevät jäystämään sisäpuolisia geometrioita.

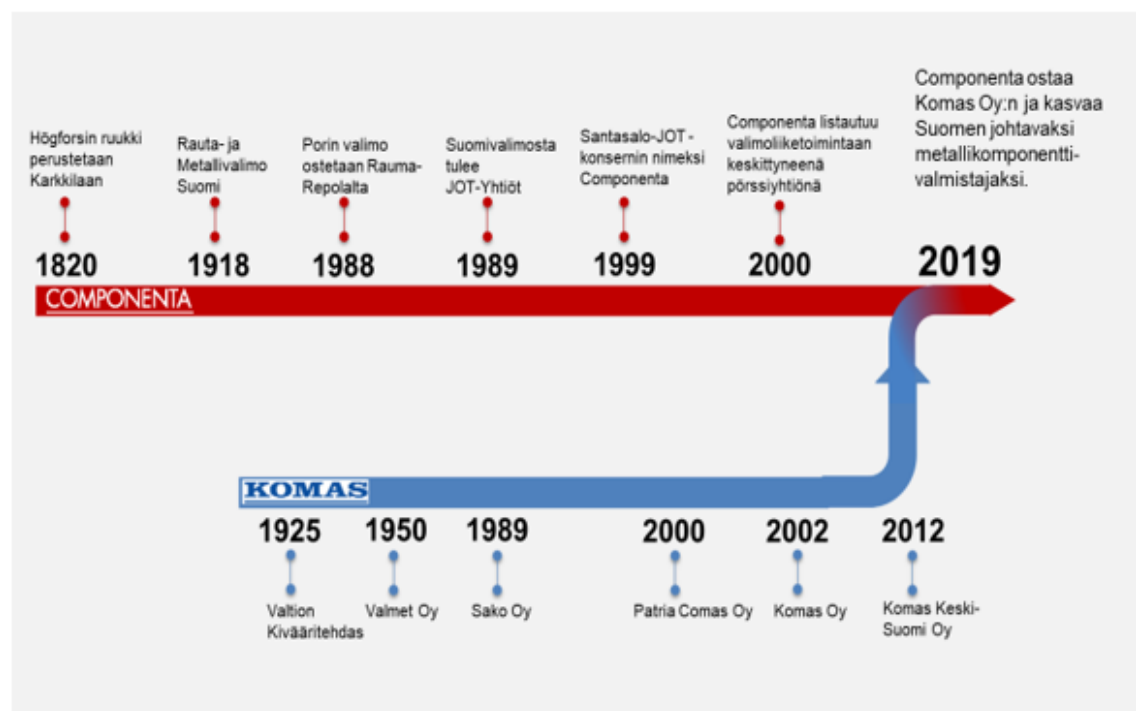
1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön rakenne koostuu alussa olevasta tausta ja tavoitteet -osiosta, jonka jälkeen esitellään yritys, jolle opinnäytetyö on laadittu. Seuraavaksi esitellään yleistä teoriaa jäysteestä ja lastuamisesta, minkä jälkeen kerrotaan erilaisista

työstömenetelmistä, mitkä aiheuttavat jäysteitä. Tämän jälkeen käydään läpi jäysteestä aiheutuvia ongelmia teräslohkoissa ja muissa kappaleen geometrioissa. Toteusosiossa esitellään erilaiset jäysteenpoistomenetelmät, kuten manuaalinen jäysteenpoisto, robotisoitu jäysteenpoisto ja terminen jäysteenpoisto. Osiossa esitellään myös menetelmien hyödyt, rajoitukset ja niiden soveltuvuus yrityksen tarpeisiin. Toteusosion lopussa esitellään jäysteenpoistossa käytettyjä työkaluja. Lopuksi käydään läpi investointilaskennan teoriaa ja työn tuloksia ja yhteenvedossa kerrataan koko työ.

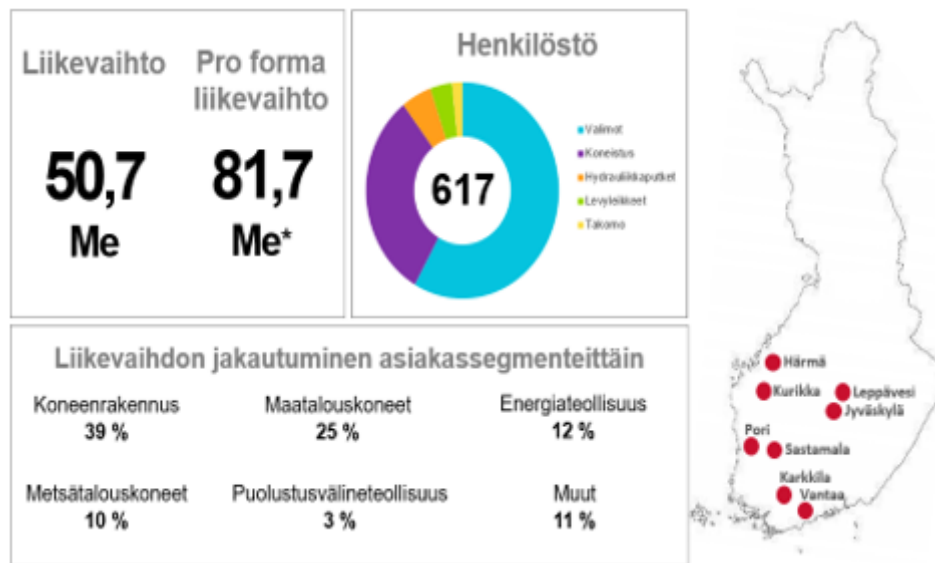
1.4 Yritysesittely

Componenta on suomalainen metallikomponenttien sopimusvalmistaja, joka toimittaa laajoja kokonaispalveluja, jotka ovat laadukkaasti ja kestävästi tuotettuja valettuja sekä koneistettuja komponentteja ja niihin liittyviä palveluita. Asiakkaina ovat globaalit ajoneuvo-, kone- ja laitevalmistajat. Componentan historia alkaa vuodesta 1820, jolloin perustettiin Högforsin ruukki tehdas Karkkilaan. Yhtiön tarkempi historia on kuvattu kuviossa 1. (Componenta yritysesittely 2020.)



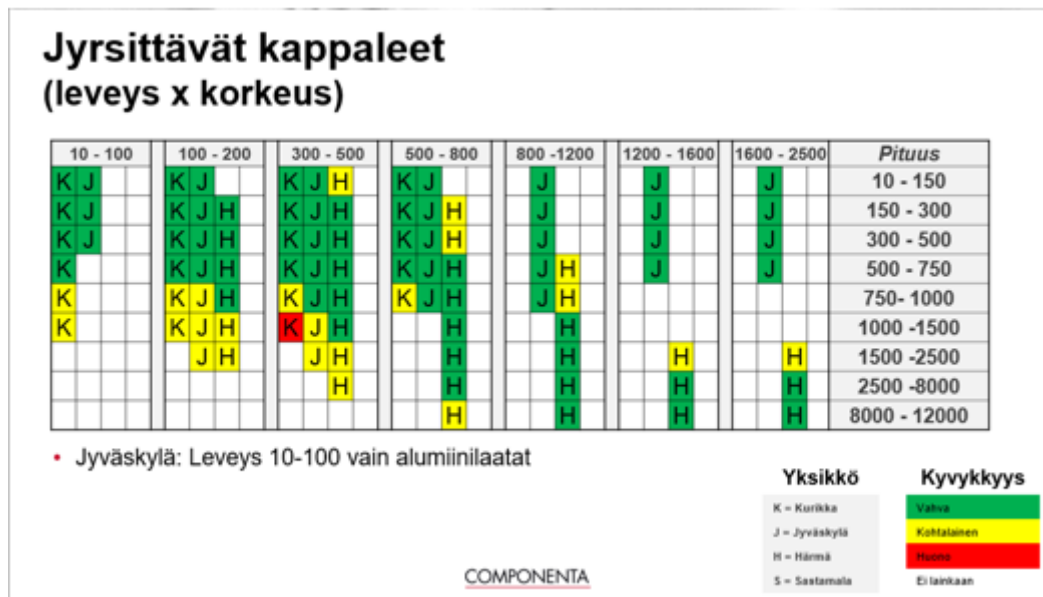
Kuvio 1. Componentan yrityshistoria (Componenta yritysesittely 2020).

Componenta kasvoi Suomen suurimmaksi metallikomponenttien valmistajaksi ostamalla koneistusliiketoimintaa harjoittavan Komas Oy:n (nykyinen Componenta Manufacturing Oy) elokuussa 2019. Yhtiöllä on rautavalimot Porissa ja Karkkilassa, koneistuspalvelut Jyväskylässä, Härmässä, Kurikassa ja Sastamalassa sekä materiaaalipalvelut (levyleikkeet, hydraulikkaputkien valmistus ja takomo) Jyväskylässä ja Leppävedellä. Componentalla on työntekijöitä noin 617 ja yhtiön pääkonttori sijaitsee Vantaalla. Componentan liikevaihto oli noin 50,7 miljoonaa euroa vuonna 2019. (Componenta yritysesittely 2020.)



Kuvio 2. Componenta Oy tilinpäätöstiedot ja yhtiön toimipaikat (Componenta yritysesittely 2020).

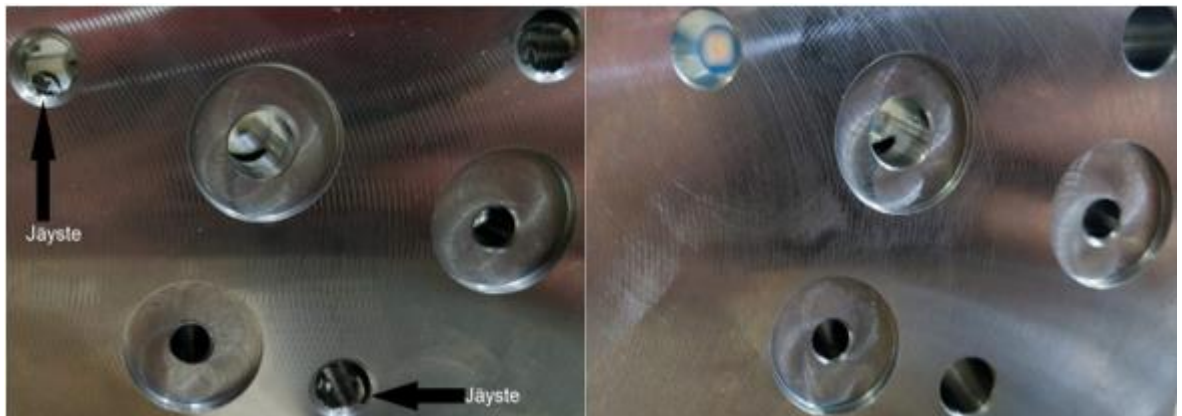
Kurikan koneistusyksikkö valmistaa pääasiassa komponentteja sopimusasiakkaillensa. Kurikan koneistusyksikön pääasiallisia tuotteita ovat rengasmaiset tuotteet, akselit, holkit, kannattimet ja kiinnittimet, kannet, hammastetut kappaleet ja erilaiset teräslohkot. Tuotannon sarjakoona suuruus vaihtelee 1-20 000 kappaleen välillä ja koneistettavien kappaleiden koot 10-1150 mm. Kuviossa 3 on esitelty jysittävien kappaleiden koot ja kyvykkyudet eri koneistusyksiköissä. (Componenta yritysesittely 2020.)



Kuvio 3. Koneistuspalveluiden kyvykkyudet jyrsittävillä kappaleilla (Componenta yritysesittely 2020).

2 JÄYSTE JA SEN POISTO

Jäyste (kuva 1) määritellään ohueksi harjanteeksi tai karkeudeksi, joka syntyy kappaleen reunoille tai sisälle koneistuksen tai leikkauksen seurauksena. Tyypillisesti jäysteet eivät ole seurausta huonosta suunnittelusta tai huonosta toteutuksesta. Ne ovat luonnollinen seuraus koneistus- ja meistausprosesseista. Suuret jäysteet voivat kuitenkin johtua huonosta suunnittelusta. Esimerkiksi jäysteenpoiston kustannuksia voivat nostaa tietyt koneistus- tai lävistys- ja taivutusprosessit. Ne voivat johtua myös muista valmistusmenetelmissä tehdyistä valinnoista. Myös järjestys, jossa komponentti koneistetaan tai meistataan, vaikuttaa jäysteiden sijaintiin ja niiden poistamiseen tarvittaviin toimiin. Huolimatta työkalujen toimivuudesta voi jäysteenpoisto perinteisillä keinoilla olla mahdotonta. (Gillespie 1999, 3.)



Kuva 1. Jäystämätön & Jäystetty teräslohko

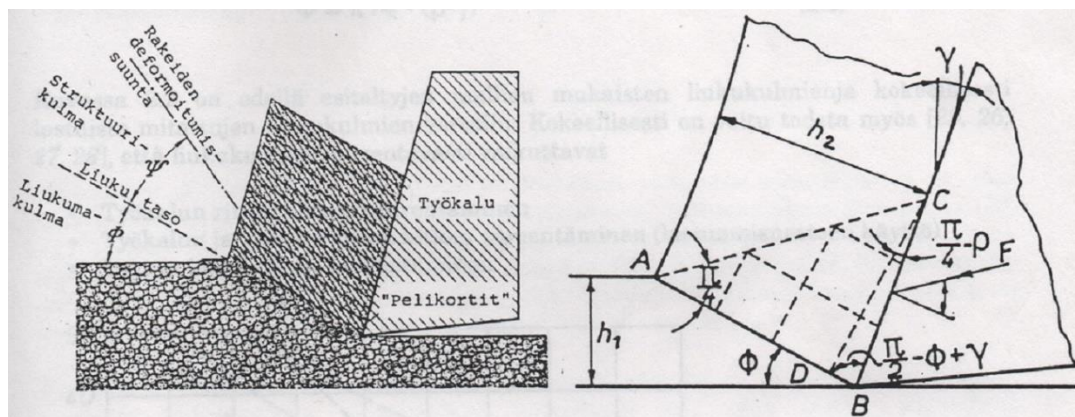
Jäyste muodostuu kappaleeseen koneistuksen yhteydessä väistämättömästi, eikä sen syntymiseen vaikuta huono suunnittelu tai toteutus. Syötöt, lastuamisnopeudet, lastuamissyvytykset, terägeometria, koneistujärjestys ja jopa työstökoneiden suunnittelu ja korjaus vaikuttavat jäysteiden kokoihin ja siten jäysteenpoiston kustannuksiin. Korkeat syöttönopeudet lisäävät tyypillisesti, mutta eivät aina, jäysteiden kokoa. (Niknam & Songmene 2014, 894.)

Prosesseissa, joissa normaalisti käytetään karkea- tai viimeistelysyöttöä toleranssien pitämiseksi, esiintyy työstettävillä komponenteilla useasti pienempiä jäysteitä. Jäysteenpoiston kustannusten vähentäminen vaatii tietoa jäysteiden

muodostumisesta. Niiden estäminen ja minimointi on teknisesti haastavaa. On ymmärrettävä tarkalleen, mikä muodostaa jäysteen, ja on myös tunnistettava, kuinka erilaiset koneistusmenetelmät vaikuttavat muihin jäysteiden ominaisuuksiin. Yhden muuttujan vaihtaminen jäysteen paksuuden pienentämiseksi voi lisätä samassa komponentissa toisen jäysteen paksuuden tai pituuden kasvamista. Vaikutus on niin monimutkainen, että jokaisella eri jäystetyypillä voi olla useita alaluokkia. Esimerkiksi porausjäysteillä on vähintään kuusi erilaista esiintymismuotoa, ja jokaisella muodolla on oma nimi. (Gillespie 1999, 53.)

2.1.1 Lastuamisprosessi

Lastunmurtumisen ja terän kulumisen hallinta edellyttää lastuamisprosessin hyvää tuntemista. Lastuamistapahtuman monimutkaisuuden vuoksi ei ole tähän mennessä voitu esittää yhtä yleispätevää mekaanista, materiaalfysikaalista tai termodynaamista teoriaa, joka avaisi kaikki empiirisissä tutkimuksissa tehdyt havainnot. (Andersson 1993, 11.)



Kuva 2. Lastunmuodostusmalleja 1) Piispasen ja Merchantin 2) Leen ja Shafterin mukaan (Andersson 1993, 11).

Molemmissa malleissa on lastuamistilanne yksinkertaistettu ortognaalitapaukseksi. Lisäksi oletetaan lastuava särmä idealisen teräväksi. Teorioiden keskeinen sisältö on, että suurin osa lastun muodonmuutoksesta ja irtoamisesta perusmateriaalista tapahtuu liukutasossa, joka lähtee pääsärmästä ja ulottuu pisteeseen, jossa irtoava lastu kohtaa perusmateriaalin deformatumattoman pinnan ja muodostaa päälastuamissuunnan kanssa kulman Φ . Lastuttaessa materiaali irtoaa Piispasen

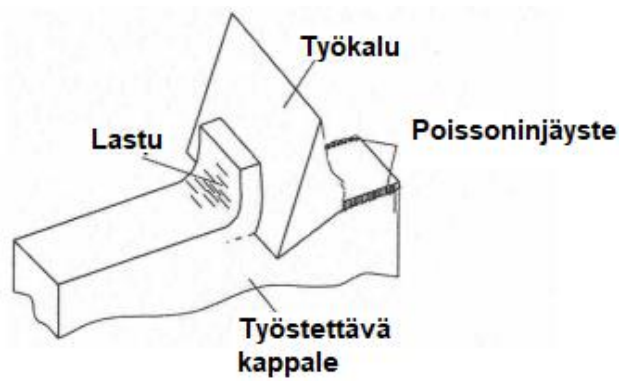
nk. korttipakkateorian (kuva 2) mukaan lamelleina. Perusmateriaalin pallomaisiksi ajatellut rakeet litistyvät lastuun siirtyessään poikkileikkaukseltaan ellipseiksi, joiden isoakselit muodostavat liikutason kanssa struktuurikulman ψ . (Andersson 1993, 11.)

Eri teräslajien lastuttavuus poikkeaa toisistaan riippuen seosaineista, lämpökäsittelystä ja valmistusprosessista (taonta, valu jne.). Pehmeiden, niukkahiillisten terästen koneistuksessa pääongelmia ovat irtosärmän ja jäysteen muodostuminen työkappaleen pinnalle. Kovien terästen koneistuksessa oleellisempaa on jyrsimen paikoitus niin, että vältetään teräsärmien murtumat. (Sandvik 2020a.)

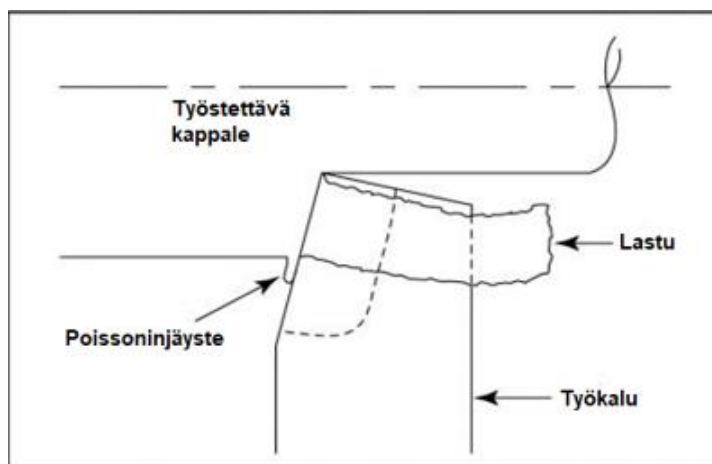
Ruostumattomat teräkset voidaan jakaa ferriittisiin, martensiittisiin ja austeniittisiin teräksiin sekä austeniittis-ferriittisiin duplex-teräksiin, joista kullakin on omat suosituksensa jyrsinnässä. Austeniittisten ruostumattomien terästen ja duplex-lajien jyrsinnässä suurimpia kulumiskriteerejä ovat lämpösäröilystä johtuvat särmämurtumat, lovikuluminen ja irtosärmän muodostus/kuoriutuminen. Työkappaleen laadun kannalta pääongelmia ovat jäysteenmuodostus ja huono pinnankarheus. (Sandvik 2020a.)

2.1.2 Poissoninjäyste

Poissoninjäyste muodostuu aina, kun lastuava työkalu ylittää työkappaleen reunan (kuvio 4). Se on seurausta sivuttaisesta muodonmuutoksesta, joka tapahtuu aina, kun kiinteää ainetta puristetaan. Sivuttaisen muodonmuutoksen (jäysteen koko) on yleensä suhteellisen pieni. Jäysteen suuruus on verrannollinen leikkausreunan säteen ja kohdistetun paineen kanssa. (Gillespie 1999, 53.)



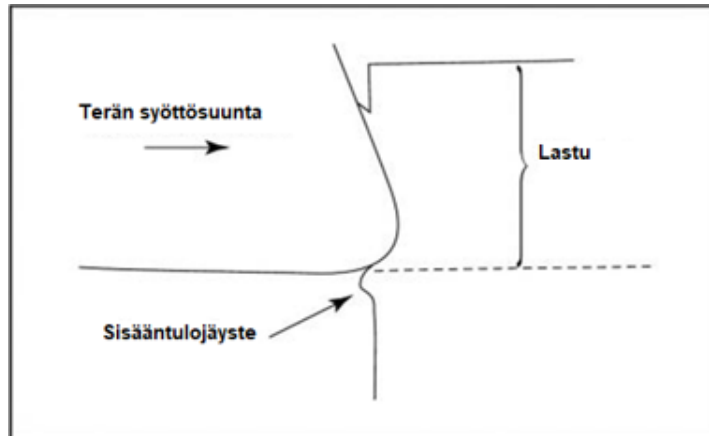
Kuvio 4. Poissoninjäysteen muodostuminen (Min & Dornfeld 2004, 16).



Kuvio 5. Poissoninjäysteen muodostuminen (mukaillen Gillespie 1999, 53).

2.1.3 Sisääntulojäyste

Kuvio 6 osoittaa, kuinka lastuavantyökalu tunkeutuu työkappaleeseen.

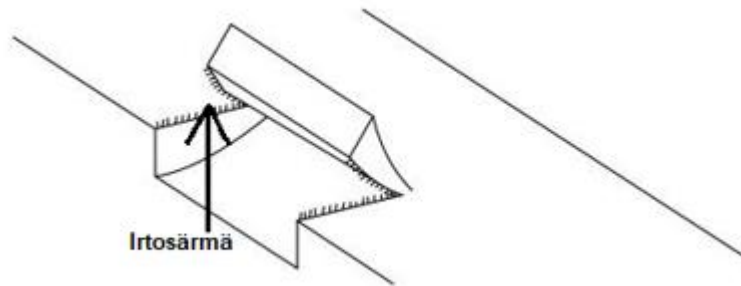


Kuvio 6. Terän aiheuttama sisääntulojäyste (mukaillen Gillespie 1999, 53).

Tämä sisääntulojäyste on materiaalia, joka on virrannut työkalun vastakkaiseen suuntaan. Se on samanlainen kuin harjanne, joka muodostuu Brinell-kovuustesterin tekemän syvennyksen ympärille. Sisääntulojäysteen muodostuminen riippuu tässä vaiheessa työkappaleen ominaisuuksista ja todennäköisesti leikkuuterän muodosta. Muokkauslujittumisella on myös tärkeä rooli poissonin- ja sisääntulojäysteen muodostumisessa. Sisääntulojäyste muodostuu yleensä, kun materiaalin muokkauslujittumisen eksponentti n on alle 0,3. Materiaalit, jotka ovat poikkeuksellisen taipuisia, tuottavat tyypillisesti paksuja ja pitkiä jäysteitä. (Gillespie 1999, 53-54.)

2.1.4 Repeytyväjäyste

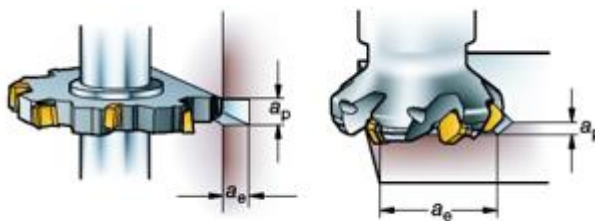
Irtosärmä muodostuu, kun lastut repeytyvät eikä leikkaudu työstettävästä kappaleesta (kuvio 7). Vaikka tällaisia repeytyviäjäysteitä voi muodostua useimmissa koneistusprosesseissa, ne muodostuvat helpoiten kulma- ja sivujyrsinnässä. Jyrsimen hammas pakottaa lastun ylös ja eteenpäin. Tällöin lastun sivut leikkaantuvat työstettävästä kappaleesta. Jäyste jää tässä tapauksessa työstettävään kappaleeseen. (Gillespie 1999, 54.)



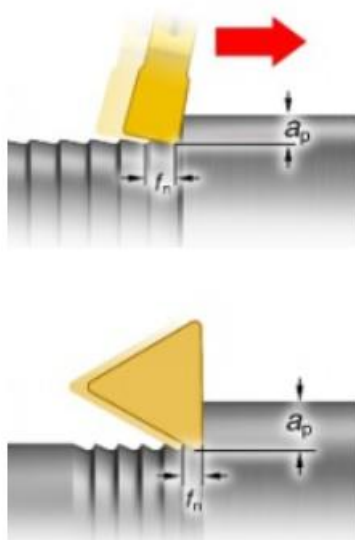
Kuvio 7. Repeytyväjäyste (mukaillen Gillespie 1999, 54).

2.1.5 Lastun kiertymisestä syntyviä jäysteitä

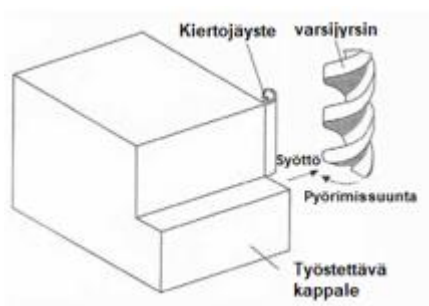
Kun lastuava työkalu (kuvio 11) poistuu työstettävästä kappaleesta, syntyy normaalisti lastun kiertymisestä jäysteitä (kuvio 10). Tämä tapahtuu, kun lastu taipuu plastisesti helpommin kuin leikkaantuu tai murtuu. Pieni lastuamissyvyys ja asetuskulma (kuvio 9) minimoivat jäysteen paksuuden. Kiertojäysteen pituus on leikkausolosuhteiden ja työstettävän kappaleen materiaalin plastisuuden funktio. Joitakin jyräintätapoja lukuun ottamatta, jäysteen pituus ei voi olla suurempi kuin lastuamissyvyys. (Gillespie 1999, 54.) Alla olevassa kuviossa 8 on esitetty jyräinnän lastuamissyvydet a_e ja a_p . a_e on radiaalinen lastuamissyvyys ja a_p on aksiaalinen lastuamissyvyys. Sorvauksessa käytetään a_p :ta merkitsemään lastuamissyvyyttä, kuviossa 9 esiintyvä f_n tarkoittaa syöttöä.



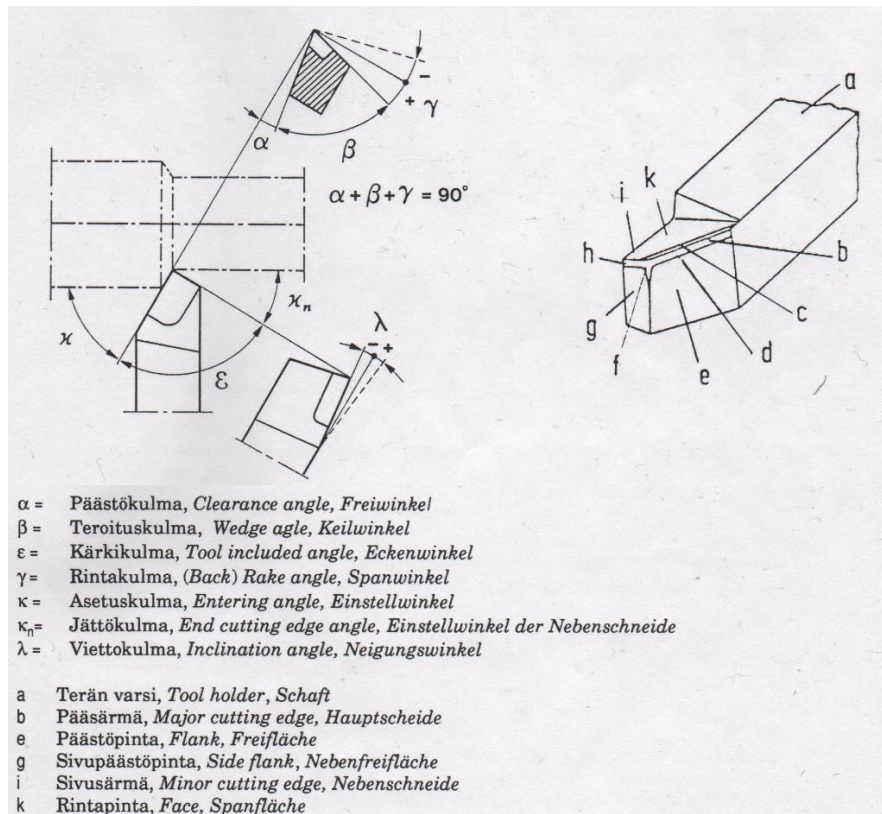
Kuvio 8. Lastuamissyvydet jyräintä (Sandvik 2020b).



Kuvio 9. Lastuamissyvyys sorvaus (Sandvik 2020b).



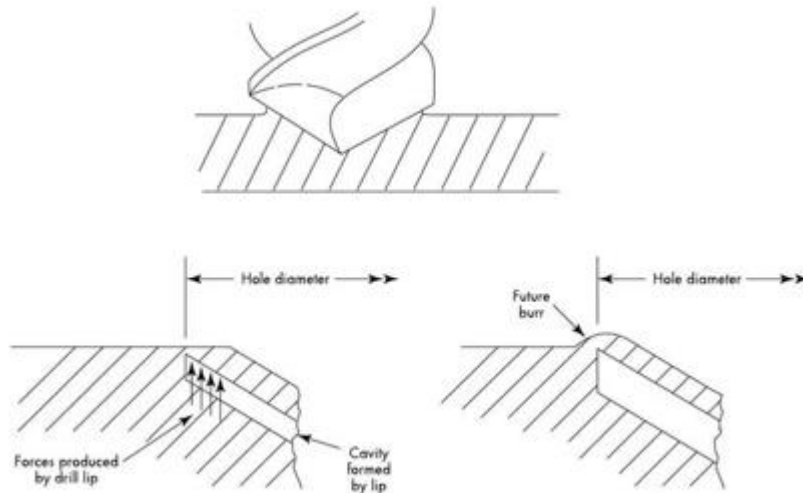
Kuvio 10. Kiertojäyteen muodostuminen (mukaillen Min & Dornfeld 2004, 16).



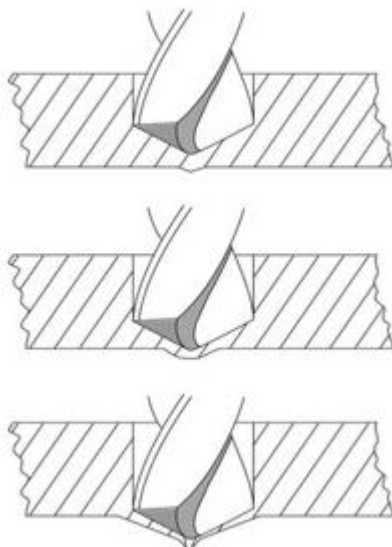
Kuvio 11. Terägeometria (Andersson 1993, 10).

2.1.6 Porausjäyste

Kappaletta poratessa reiän suulle muodostuva jäyste voi syntyä repivästä, taivutuksen aiheuttamasta leikkausvoimasta tai sivupuristuksesta. Tämä muodostuu, kun erittäin terävä pora poistuu työstettävästä kappaleesta (kuvio 13). Tätä kutsutaan myös poissoninjäysteeksi, joka on seurausta poran hangatessa kappaleen reunoja poistuessaan. Kun normaali tai tylsä pora poistuu työstettävän kappaleen pohjasta, leikkaamaton lastu kääntyy ympäri, jolloin muodostuu kääntöjäystettä. Poran hankaus porausreiän seinämiä vasten voi lisätä porausjäysteen paksuutta (Gillespie 1999, 61.)



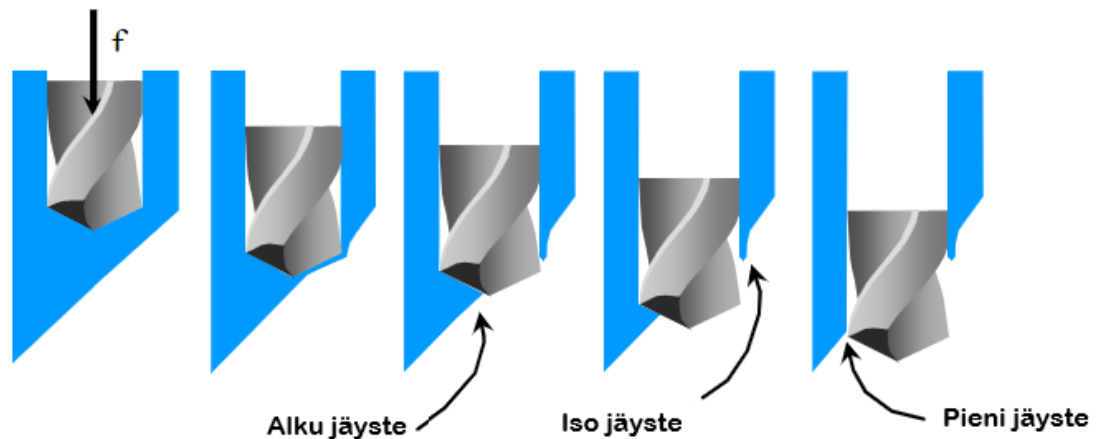
Kuvio 12. Porausjäysteen muodostuminen reiän sisäänmenokohtaan (Gillespie 1999, 62).



Kuvio 13. Poran poistuessa työstettävästä kappaleesta muodostuva porausjäyste (Gillespie 1999, 62).

Jäysteen muodostuminen porauksessa riippuu ensisijaisesti työkalun geometriasta ja työkalu- ja työstösuunnasta. Kun porataan risteäviä reikiä, niiden akselien suunnilla on vaikutusta reikien reunoilla olevien jäysteiden sijaintiin ja muodostumiseen. Kuvio 14 esittää jäysteen muodostumista risteävässä reiässä. Kun poran poistumiskulma vaihtelee risteävien reikien ympärysmitan takia, jäysteen muodostuminenkin vaihtelee. Tämä tarkoittaa, että leikkausgeometria ja työkalugeometria pitäisi optimoida epätoivotun jäysteen muodostumisen

minimoimiseksi porauksen aikana. Jäysteen muodostuminen risteävissä rei'issä riippuu myös kulma-asennosta samoissa leikkausolosuhteissa. Suuret poistumiskulmat komponentissa, kuten kuviossa 14 osoitetaan, tuottavat pieniä jäysteitä. Myös komponentin pinnan kaltevuuskulmalla on vaikutus jäysteen muodostumisen kannalta. 45° kaltevuuskulma vähentää jäysteiden muodostumista. (Dornfeld 2004, 8-10.)



Kuvio 14. Porausjäysteen muodostumisen vaiheet (mukaillen Dornfeld 2004, 9).

2.1.7 Jäysteiden aiheuttamia häiriöitä

Jäysteet ja terävät jäystereunat aiheuttavat monia ongelmia. Ne voivat syntyä epähuomiossa jätetyistä terävistä jäystereunoista tai ne voivat olla seurausta porauksesta, jossa tyypillisesti syntyy monia teräviä jäysteitä. Esimerkiksi ohutlevyosien jäysteet aiheuttavat ennenaikaisen murtumisen lävistyksessä tai muodonmuutoksen aikana ja pinnoitus jäysteen päälle aiheuttaa mahdollisesti materiaalille varhaisen korroosion tai huonon istuvuuden asennuksen aikana. Jäystereunan laatu on tärkeä osa suorituskykyä, turvallisuutta, kustannuksia ja ulkonäköä. Alla olevassa luettelossa on kerrottu virheellisesti viimeistelyjen jäystereunojen aiheuttamia ongelmia. (Niknam & Songmene 2014, 895.)

- haavat käsissä kokoonpantaessa tai purkamisessa
- erilaiset häiriöt asentaessa komponentteja
- jumittuneet venttiilit

- naarmuuntuneet liitospinnat, jotka aiheuttavat vuotoja tiivisteissä, kuten O-renkaissa ja kumitiivisteissä
- virheelliset mittaustulokset
- lisääntynyt kuluminen komponenteissa.

Jäysteenpoisto ei tuo työstettävälle kappaleelle lisäarvoa, mikä merkitsee, että se on hukkaa ja lisää kappaleen työstöaikaa. Jäysteenpoisto voi olla kappaleen kokonaiskustannuksista jopa 30 %. (Niknam & Songmene 2014, 895.)

2.1.8 Jäystämismenetelmään vaikuttavat tekijät

Jäyste on perinteisesti poistettu käsihiomakoneella, hiomakankaalla tai muulla manuaalisella menetelmällä. Nämä menetelmät ovat kuitenkin hitaita ja edellyttävät usein, että osa irroitetaan ja kiinnitetään uudelleen purseenpoistoa varten. Lisäksi tasaisen osien laadun ylläpitäminen on lähes mahdotonta kokoneellekin työntekijälle. (Gillespie 2003, 1.) Valittaessa jäysteenpoistoprosessia yrityksen on puututtava useisiin ongelmiin, mukaan lukien työstettävään materiaaliin, reunan säteeseen, varastoarvon alenemaan ja pintakäsittelyyn. Suurin osa tarkkuusosien jäysteiden paksuuksista on välillä 0,025 - 0,0762 mm ja ne voidaan poistaa tavanomaisilla jäysteenpoistoprosesseilla. Jos jäysteen paksuus on 0,127–0,254 mm, se on yleensä koneistettava. Kaikki nämä asiat vaikuttavat valittavaan jäysteenpoistoprosessiin, joka täyttää taloudelliset sekä laadulliset vaatimukset. (Rooks 2017.)

2.2 Manuaalinen jäysteenpoisto

Manuaalinen jäysteenpoisto tunnetaan edelleen laajimmin käytettynä jäysteenpoistomenetelmänä monista eri syistä, kuten sen äärimmäisestä joustavuudesta, alhaisista kustannuksista ja vähäisestä tekniikan tarpeesta. Prosessissa käytetään yleisesti erilaisia käsileikkureita ja pneumaattisia tai sähköisiä työkaluja. Perinteisesti käsin tehtyä jäysteenpoistoa on pidetty välttämättömänä pahana, joka häiritsee tuotantoa ja aiheuttaa suurta vaivaa. Siitä

huolimatta, että se on intensiivistä ja tuottaa usein toivottua vähemmän haluttuja tuloksia, käytetään sitä edelleen laajasti, koska se on monipuolinen ja vaatii vähän lattiailaa ja pienen pääomasijoituksen. Sovelluksesta riippuen se voi olla edullisin ja tehokkain tapa poistaa jäysteitä. (Gillespie 1999, 355.)

2.2.1 Manuaaliset jäysteenpoistontyökalut

Manuaalisessa jäysteenpoistossa voidaan käyttää monipuolisia työkaluja, kuten kaapimia, jäysteveitsiä (kuva 3), senkkausteriä (kuva 3), hiomapapereita, harjoja, viilausteriä (kuva 4) tai puikkoja. Työkalun valinnassa on otettava huomioon seuraavia asioita: materiaali, työstettävän kappaleen geometria, jäysteen koko, jäysteen sijainti ja jäystettävän reunan pituus Gillespie 1999, 358).



Kuva 3 Senkkausterä & Jäysteveitsi (Würth Oy 2020).



Kuva 4 Viilausterä mallisto (Karnasch 2020).

2.2.2 Menetelmän rajoitukset & haitat

Manuaalisessa jäysteenpoistossa rajoittavat tekijät ja virheet johtuvat työntekijästä, eikä niinkään laitteista. Käsillä tehdyssä jäysteenpoistossa on vaikea saavuttaa tasaista laatua ja toistettavuutta, jolloin työstettävien kappaleiden laadut vaihtelevat laajasti ja voivat aiheuttaa hukkapaloja. Sen rajoituksia ja haittoja ovat esimerkiksi, tietämättömyys muista jäysteenpoisto menetelmistä, tietämättömyys mihin jäysteet muodostuvat, ja se ettei käytetä aikaa jäysteiden tutkimiseen ja pidetään sitä yleisesti parhaana vaihtoehtona, kun ei viitsitä arvioida parasta menetelmää. (Gillespie 1999, 356.)

2.2.3 Menetelmän hyödyt

Manuaalinen jäysteenpoisto, on monipuolisin prosessi, koska se mahdollistaa työntekijöiden kehittää parempia jäyستمistekniikoita. Työntekijät pääsevät sellaisiin kohtiin joihin koneet eivät pääse ja poistavat koneita monipuolisemmin jäysteitä. Alla olevassa luettelossa on kerrottu manuaalisen poiston hyötyjä. (Gillespie 2003, 2-3.)

1. Hyödyt pienissä tuotantosarjoissa

- Pieni työstettävien komponenttien lukumäärä tekee manuaalisesta jäysteenpoistosta kustannustehokkaimman.
- Suuret vaihtelut jäysteiden koossa, lyhyillä tuotantosarjoilla estävät muiden menetelmien käytön.
- Pienien sarjakokojen ajo onnistuu nopeasti.

2. Manuaalisen jäysteenpoiston monipuolisuus

- Koneellisesta jäysteenpoistosta jäljelle jääneet pienet jäysteet on poistettava (manuaalisessa jäysteenpoistossa kerralla valmista).
- Jäyste- tai viimeistelykone ei pysty työstämään kaiken kokoisia komponentteja (manuaalinen jäysteenpoisto voidaan tehdä minkä tahansa kokoiselle komponentille).

- Vaadittu jäysteenpoistolaite on poissa käytöstä (manuaalinen jäysteenpoisto on käytettävissä aina).

3. Konekierto

- Manuaalista jäysteenpoistoa voidaan tehdä, kun muita koneistustöitä suoritetaan.

2.2.4 Menetelmän soveltuvuus teräslohkojen jäystämiseen

Manuaalinen jäysteenpoistomenetelmä on yrityksen näkökulmasta epäedullinen ja aikaa vievä menetelmä. Teräslohkoille on vaarana kierteiden vioittuminen, joka johtaa komponentin hylkäämiseen. Risteävien reikien jäystäminen käsin on tarkkaa työtä, mikä vaatii erinomaista vakautta työkalun käsittelijältä. Manuaalisen jäysteenpoiston hyviä puolia on sen matalat kustannukset ja pienien eräkokojen nopea läpimenoaika. Suurissa volyyymeissa se on hidas ja muodostaa nopeasti pullonkaulan tuotantoon. Menetelmän suurimmat haitat ovat komponenttien epätasainen laatu ja hukkapalojen määrä. Myös heikko työturvallisuus on ongelma manuaalisessa jäysteenpoistossa. (ks. luku 2.2 & 2.2.2.)

2.3 Robotisoitu jäysteenpoisto

Teollisuusrobotti (kuva 7) määrittellään "joukoksi jäykkiä linkkejä, jotka on kytketty erilaisiin niveliin, joita tietokone ohjaa ja valvoo". Yksi robotin ominaisuuksista on kyky toimia automaattisesti, ilman valvontaa. Tämä tarkoittaa sitä, että on oltava sisäänrakennettu älykkyys, ohjelmoitava muisti tai yksinkertaisesti säädettäviä mekanisme, jotka käskyttävät manipulaattoria. Teollisuusrobotit ovat edistyneitä automaatiojärjestelmiä, joita ohjaa pääasiassa tietokone. Nykyään tietokoneet ovat tärkeä osa teollisuuden automaatiota. Tietokoneet valvovat tuotantolinjoja ja ohjaavat valmistusjärjestelmiä (esim. työstökoneita, hitsausrobotteja, laserleikkureita jne.). (Gupta ym. 2017, 399.)

Uuden sukupolven robotit suorittavat erilaisia tehtäviä teollisuusjärjestelmissä ja osallistuvat tehtaiden täyteen automaatioon. Japanilaiset määrittelivät teollisuusrobotit neljään eri tasoon (Gupta ym. 2017, 399.):

- **Manuaaliset manipulaattorit**, suorittavat yksinkertaisia muuttomattomia tai esiasetettuja tehtäviä.
- **Toistorobotti**, toistaa esiohjelmoituja käskyjä tai komentoja.
- **NC-robotti**, numeerisesti ohjattu robotti
- **Älykkäät robotit**, suorittaa erilaisia tehtäviä tai komentoja itsenäisesti omien tunnistusominaisuuksien avulla, kuten konenäkö ja erilaiset voima ja vääntömomenttianturit. (Gupta ym. 2017, 399.)

Robotisoitu jäysteenpoistosolu (kuva 5) koostuu karamoottorista, jäysteenpoistotyökalusta ja työkalupidikkeestä. Oheislaitteet, kuten manipulaattori ja robottirata, perustuvat samaan periaatteeseen kuin valokaarihitsausrobotin solu (kuva 6).



Kuva 5 Fastems jäysteenpoistosolu (Fastems 2020).



Kuva 6 Yaskawa moniakselinen hitsaussolu (Yaskawa 2020).

Robotisoidun jäyste- ja pintakäsittelysolujen käyttömäärät kasvavat, koska lean-valmistustekniikka vaatii enemmän tuloksia vähemmällä työllä. Robotisoitu pintakäsittely on prosessi, jota voidaan käyttää monissa konepajateollisuuden aloilla, lentokoneeteollisuudesta autoteollisuuteen ja laivanteollisuuteen. Robotisoidulla jäysteenpoistolla on valtavat rahalliset säästöpotentiaalit, jos ne tehdään oikein. Yksi avain onnistuneeseen jäysteenpoistosoluun on järjestelmän kyky mukautua jatkuvasti muuttuviin komponentin toleransseihin ja jäysteiden kokoon. Yleisesti onnistunut jäysteen tai pinnan viimeistely vaatii tasaisen lopputuloksen lähtöolosuhteista riippumatta. Jäystämisen onnistuminen vaatii (Odham 2007, 1.):

- jäysteen poistamista kokonaan komponentista.
- viimeistely pinta pitää olla tasainen ja pykälätön.
- jäystäminen ei saa poistaa muuta materiaalia kuin jäystettä.

Kolmesta vaatimuksesta pinnan jättäminen tasaiseksi ja pykälättömäksi on hankalinta manuaalisessa jäysteenpoistossa, kun taas jäysteen poistaminen

kokonaan komponentista, poistamatta liikaa muuta materiaalia on vaikeinta suorittaa robotilla. (Odham 2007, 1.)

Robotisoidun jäysteenpoiston käyttö on yleistä suurilla tuotantomäärillä. Pienten tuotamäärien jäyistäminen on taloudellisesta näkökulmasta järkevää tehdä manuaalisesti, koska jäysteenpoisto ohjelmien tekeminen robotille vie yleensä runsaasti aikaa ja on näin ollen pienillä tuontaerillä epätaloudellista. (Gillespie 1999, 338.)



Kuva 7 Eri valmistajien teollisuusrobotteja (Manganorobot 2020).

2.3.1 Jäysteenpoistorobottien valmistajat

Jäysteenpoistorobotteja valmistaa useampi robotiikka-alan yritys. Näistä tunnetuimpia ovat KUKA, Fanuc, ABB ja Yaskawa. Edellä mainituilla yrityksillä löytyy valikoimasta jäyistämiseen tarkoitettuja robottikokonaisuuksia. Robottien ohjelmointiin ja jäysteratojen ohjelmointiin löytyy ohjelmistoja valmistajilta itseltään, kuten ABB:n Robotstudio, Yaskawan MotoSim, Fanucin Roboguide ja KUKA:n Kuka.Sim. Myös muut yritykset tekevät etäohjelmointi- ja simulointijärjestelmiä.

Esimerkiksi Delfoi tarjoaa Delfoi CUT-nimisen ohjelmiston, joka hyödyntää kappaleen 3D CAD -mallia, mikä helpottaa ja nopeuttaa kappaleen jäysteenpoistoratojen tekemistä. Simulointimalliin voidaan myös tuoda suoraan CNC-työstöratoja CAD/CAM-ohjelmistoista. Delfoi CUT:n hyviä puolia ovat sen neutraalisuus muihin robottivalmistajia kohtaan, eli ohjelmistoa voidaan käyttää robottimerkistä riippumatta. (Delfoi Oy 2020.)

2.3.2 Menetelmän hyödyt & rajoitukset

Robotit tarjoavat erityisiä etuja työntekijöille, teollisuudelle ja maille. Jos teollisuusrobotit otetaan käyttöön oikein, ne voivat parantaa elämänlaatua vapauttamalla työntekijöitä likaisista, tylsistä, vaarallisista ja raskaista töistä. Joten voidaan todeta, että robotit antavat ihmisille mahdollisuuden tehdä tuottavampaa työtä. Alla olevassa luettelossa mainitaan robotisoidun jäystämisen hyötyjä. (Robotworx 2020.)

- Verrattuna ihmiseen, joka poistaa manuaalisesti jäysteitä, robotti voi suorittaa saman tehtävän paljon nopeammin, mikä lisää tuotantokapasiteettia.
- Robotti pystyy jäystämään enemmän komponentteja samassa ajassa kuin ihminen, mikä nopeuttaa robottisolun takaisinmaksuaikaa.
- Robotit kykynevät työskentelemään jatkuvasti ja saa aikaan näin ollen katkeamattoman tuotannon.
- Robotit parantavat ja tasaavat tuotteen laatua niiden toistotarkkuuden takia. Tämä vähentää valmiissa kappaleissa viallisten määrää.
- Robotisoitu jäysteenpoisto on paljon turvallisempi prosessi, kuin manuaalinen jäysteenpoisto. (Genesis-system 2020.; Robotworx 2020.)

Robotisoidun jäysteenpoiston haitat ovat komponentin muuttuvat geometriat ja jäysteiden sijainnit. Myös työkalujen kulumisen ja rikkoutuminen voi rajoittaa menetelmän käyttöä, mikä johtuu yleensä kappaleen paikoitustarkkuudesta. (Kramer Industries Inc 2020.)

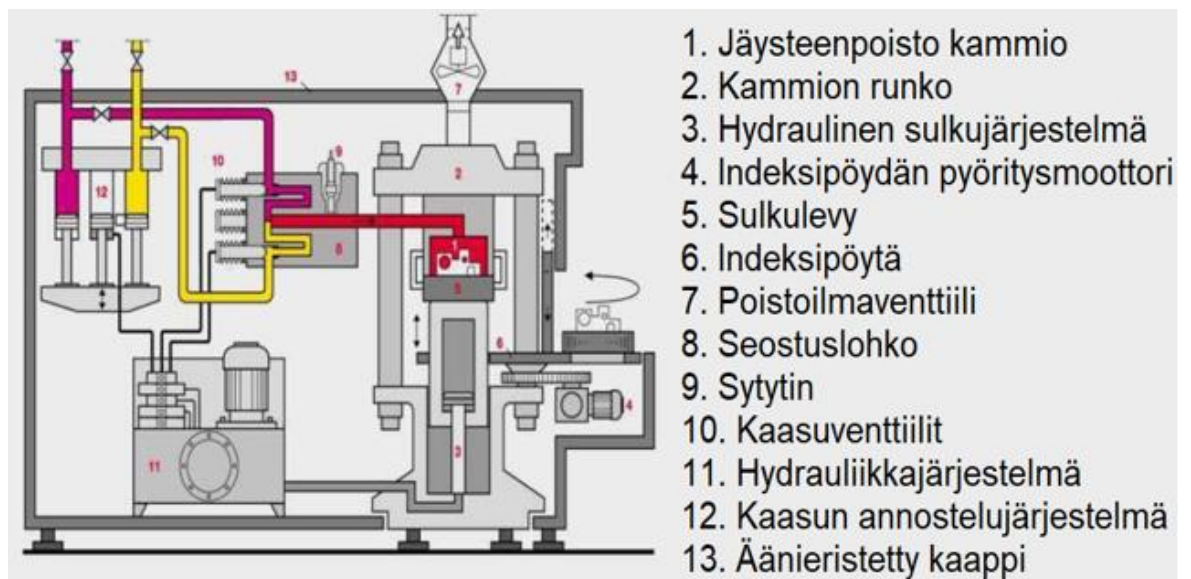
2.3.3 Robotin soveltuvuus teräslohkojen jäystämiseen

Robotisoitu jäysteenpoisto on hyvä vaihtoehto yrityksille, jotka valmistavat suurivolyymisiä komponenttieriä, ja myös niille, joilla ei ole kapasiteetissa varaa nostaa työstöaikoja koneistuskeskuksessa jäysteenpoistoa varten. Etuja teräslohkojen jäystämisessä manuaaliseen verrattuna ovat nopeampi jäystäminen,

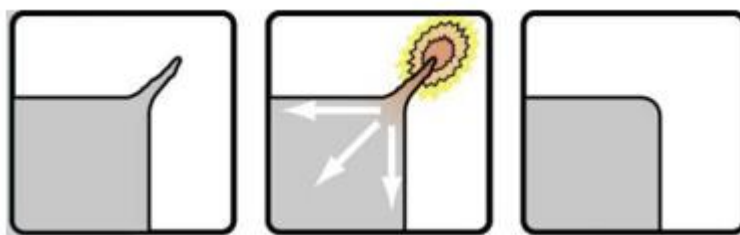
suurempi toistotarkkuus, tasainen laatu, parempi työturvallisuus ja viallisten kappaleiden vähentyminen. Robotisoitu jäysteenpoisto myös vapauttaa henkilöstöresursseja muihin vaativimpiin ja tuottavampiin tuotannon tehtäviin. Menetelmän rajoitukset tulevat esiin vaikeapääsyisten reikien ja onkaloiden jäystämisessä: jos komponentissa on reikä, johon ei ole suoraa pääsyä on sen jäystäminen robotilla mahdotonta. Myös jäysteenpoistotyökalujen kuluminen ja rikkoituminen hidastavat ja heikentävät jäysteenpoiston laatua. (ks. luku 2.3.2.)

2.4 Terminen jäysteenpoisto

Terminen jäysteenpoisto, kuten nimestä voi päätellä, on viimestelyprosessi, joka hyödyntää lämpöenergiaa jäysteiden poistamiseen. Menetelmää käytettäessä komponentit on puhdistettava huolellisesti poistamalla kaikki leikkuunesteet, ruosteenestoaineet jne. Huolellisen puhdistuksen jälkeen komponentit asetetaan paksuseinäisen teräskammion sisään. Tämän jälkeen kammio suljetaan ja tiivistetään. Suljettu kammio paineistetaan palavalla kaasuseoksella, joka tyypillisesti on metaanin ja hapen sekoitus. Kaasumainen seos sytytetään sähköisellä sytytyslaitteella, ja kipinä sytyttää kaasun, joka hapettaa kaikki pienet jäysteet komponentista (kuvio 16). Itse komponentti pysyy vahingoittumattomana, koska sen massa on paljon suurempi kuin jäysteen, jolloin komponentin oma massa toimii jäähdytyslementtinä. Alla olevassa kuviossa 15 on esitelty ja numeroitu termisen jäysteenpoistouunin eri osat. (Halladay 2011, 1.)



Kuvio 15. Termisen jäysteenpoistouunin osat (mukaillen Extrude Hone 2016).



Kuvio 16. Jäysteen palaminen (Extrude Hone 2016).

Terminen jäysteenpoisto ei muuta komponentin mittoja, pinnanlaatua tai materiaaliominaisuuksia, kun se tehdään oikein asianmukaisilla kiinnikkeillä. Syynä tähän on se, että komponentit altistetaan voimakkaalle kuumuudelle vain sekunnin murto-osan ajan, koko komponentin lämpötilan saavuttaessa vain alle 180 celsius-astetta. Kierteet eivät myöskään mene pilalle, koska ne ovat juuresta hyvin leveitä, mikä mahdollistaa lämmön siirtymisen komponenttiin. (Halladay 2011, 2.)

2.4.1 Menetelmän rajoitukset

Terminen jäysteenpoisto on tehokas lähes kaikilla materiaaleilla. Kuten aiemmin mainittiin, jäysteen on absorboitava lämpöä molemmilta puolilta saavuttaakseen tarpeeksi korkean lämpötilan hapettumiseen. Nämä kaksi vaihetta termisessä jäysteenpoistossa, lämmön absorptoituminen jäysteeseen ja jäysteen hapettuminen, ovat vaikeita saavuttaa, jos materiaali vastustaa hapettumista tai sillä on korkea lämmönsiirtokerroin (jäyste absorboi lämpöä, mutta siirtää sen nopeasti komponenttiin). Alla on listattu menetelmän rajoituksia. (Halladay 2011, 6.)

1. Komponentti ei voi olla suurempi kuin jäysteenpoistokammio (kuvio 17).
2. Materiaalin on oltava happekelpoista.
3. Käyttökohteita rajoittaa komponentin materiaali ja jäysteiden koot.
4. Reunan sädettä ei voida määrittää.
5. Usein komponentit on pestävä käsittelyn jälkeen.
6. Ei sovi magnesiumille, titaanille tai kuparille ja kovien metallien jäystäminen on rajallista.
7. Lävistysjäysteet eivät yleensä poistu kokonaan.
8. Osien pitää olla puhtaita ja kuivia öljystä sekä leikkuunesteistä, ennen kuin ne voidaan termisesti jäystää.
9. Ei poista suuria roikkuvia jäysteitä. (Halladay 2011, 6.)

	Chamber size (ØxH)*	Chamber Pressure (bar)
T350	250 x 300	23
	320 x 300	16
	400 x 400	10
T450	320 x 300	20
	400 x 400	14
	450 x 400	10
	400 x 500**	14

Kuvio 17. Jäysteenpoistouunin kammion koot (Extrude Hone 2016).

2.4.2 Menetelmän hyödyt

Termisen jäysteenpoiston etuja verrattuna robotisoituun jäysteenpoistoon on, että sillä voidaan jäystää monta komponenttia kerralla ja jäysteet hapettuvat pois hankalistakin paikoista. Tämä mahdollistaa suuret tuotantomäärät. Sillä voidaan poistaa jäysteet teräksestä, valuraudasta, alumiinista, messingistä, pronssista, sinkistä ja joistakin muoveista. Alla on listattu menetelmän höytyjä. (Halladay 2011, 3.)

1. Kiinteät valmistuskustannukset.
2. Kalliin ja aikaa vievän manuaalisen jäysteenpoiston korvaaminen.
3. Jäysteiden poistaminen kaikista komponenteista järjestelmällisesti.
4. Henkilöstö- ja työvoimakustannuksien pienentyminen.
5. Komponentin laadun ja luotettavuuden kasvu.
6. Ei vahingoita kierteitä, nopea jäysteenpoisto.
7. Paljastaa huokoisuuden valukappaleissa.
8. Mahdollistaa suuret eräkoot.
9. Pienet komponenttien käsittelykustannukset. (Halladay 2011, 3.)

2.4.3 Menetelmän soveltuvuus teräslukkojen jäystämiseen

Hydrauliikka- ja paineilmateollisuudessa terminen jäysteenpoisto on yksi parhaista jäysteenpoistomenetelmistä. Kun paineenalainen neste kulkee komponenttien risteävien reikien läpi, on tärkeää poistaa kaikki jäysteet. Järjestelmässä oleva irronnut jäyste voi aiheuttaa kalliita ja usein vaarallisia vikoja koneisiin ja hydrauliikkajärjestelmiin. Kuten aiemmin mainittiin, kaasut ympäröivät kaikki jäysteet, mikä varmistaa täydellisen jäysteenpoiston. Termistä jäysteenpoistoa käytetään venttiilikarojen, patruunaventtiilien, venttiilirunkojen, imusarjojen ja muiden hydrauliikkakomponenttien jäysteenpoistoon. Valuraudasta valmistetun venttiilirungon jäysteet on helppo poistaa termisellä jäysteenpoistomenetelmällä. Terminen jäysteenpoisto puhdistaa komponentin paremmin kuin mikään muu jäysteenpoistomenetelmä. Esimerkiksi valamisessa ydinhiekka ja muut epäpuhtaudet ”puhalletaan pois” prosessoinnin aikana, jolloin saadaan erittäin puhdas osa, jossa ei ole irrallisia jäysteitä, lastuja tai hiekkaa. (Halladay 2011, 4.)

Terminen jäysteenpoisto on nopea ja tehokas jäysteenpoistomenetelmä ja se sopii yrityksille, jotka valmistavat erilaisia hydrauli- ja pneumatiikkalohkoja sekä venttiilejä (Halladay 2011, 4). Menetelmän kyky jäystää yhtä aikaa useampi komponentti sekä myös nopea työstöaika tekevät tästä lohkoja valmistavissa yrityksissä vartenotettavan vaihtoehdon (Halladay 2011, 3). Matalat käyttökustannukset ja mahdollisuudet käyttää monia erilaisia räjähtäviä kaasuja sekä vähäinen huollon tarve ovat myös hyviä puolia. Huono puoli on sen hankintahinta, joka koostuu jäysteenpoistouunista (kuva 8) ja prosessin jälkeisen pesurin hankinnasta (kuva 9). ATL Anlagentechnik Luhden GmbH -valmistajan sivuilla kerrotaan iTEM 320 -jäysteenpoistouunin lähtö hinnaksi noin 300 000€ (ATL Anlagentechnik Luhden GmbH 2020).



Kuva 8. Jäysteenpoistouuni T350 (Extrude Hone 2016).

2.4.4 Termisen jäysteenpoistoprosessin jälkeinen pesu

Koska jäysteet hapettuvat nopeasti, termisen jäysteenpoistoprosessin ilmeinen sivutuote on komponenttiin muodostuva materiaalin oksidi. Oksidi, joka on muodostunut jäysteen palaessa, kerrostuu kappaleen pintaan, mistä se on yleensä poistettava. Termistä jäysteenpoistoa tehtäessä alumiinikappaleille prosessi tuottaa alumiinioksidia kappaleen pintaan, kun taas teräkselle rautaoksidia, sinkille sinkkioksidia ja niin edelleen. Termisen jäysteenpoiston jälkeiset käsittelytoimet voivat olla vaikeita ja vaativat yleensä erikoislaitteita ja -huoneita, jätevesien käsittelyä sekä vaarallisia kemikaaleja. Jos osia on tarkoitus myöhemmin esimerkiksi galvanoida, anodisoida, nitrata tai lämpökäsitellä, termisen jäysteenpoiston jälkeinen käsittely voidaan usein ohittaa. (Halladay 2011, 2.)

Teräs ja valurauta komponentit tulisi pestä tarkoituksenmukaisella pesutekniikalla 1-3 päivän kuluessa termisen jäysteenpoiston jälkeen. Jos teräs tai valurautakomponentteja ei pestä jäysteenpoistoprosessin jälkeen, voi rautaoksidin jäämät synnyttää korroosiota komponentin pintaan. Seuraavia pesutekniikoita voidaan käyttää komponenttien pesuun. (ATL Anlagentechnik Luhden GmbH 2020.):

1. Peittaus hapolla, jolloin komponentit käsitellään fosfori-rikkialtaassa. Tämä menetelmä on tehokas, mutta siihen liittyy muutamia haittoja
 - Raskas kuormitus ympäristölle ja ihmisille.

- Korkeat hävityskustannukset.
 - Happojäännösten aiheuttamat vahingot työkappaleelle ovat mahdollisia.
 - Vetyhaurastumista ei voida sulkea pois.
2. pH-neutraali puhdistus ultraäänipesurin avulla (kuva 9), jossa komponentit asetetaan häkkiin ns. yhden kammion järjestelmissä ja puhdistetaan pesurissa ultraäänellä. Lisäksi osat pestään korkeapaineella (16-18 bar). Tämän jälkeen työkappaleet kuivataan tyhjiössä. pH-neutraalin puhdistuksen hyviä puolia.
- Alentuneet energiakustannukset verrattuna edellä mainittuun menetelmään ja pienemmät konekustannukset.
 - pH-neutraali puhdistusaine, puhdistaa luotettavasti 40 °C lämpötilassa, happo toimii kunnolla vasta 60 – 70°C:ssa. (ATL Anlagentechnik Luhden GmbH 2020.)



Kuva 9. Finnsonic Optima ultraäänipesulinjasto. (FinnSonic 2016).

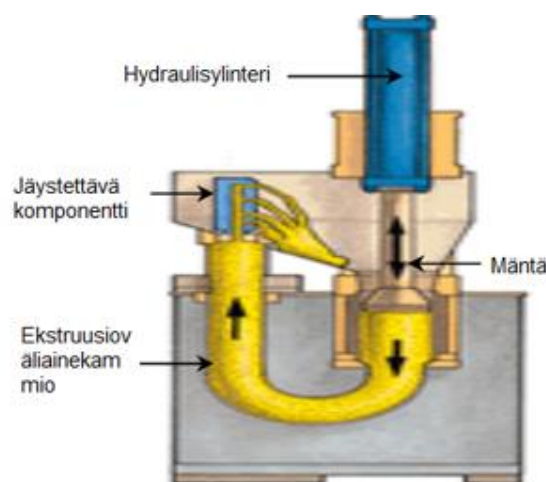
2.5 Abrasiivinen virtausmenetelmä (AFM)

Abrasiivinen virtausmenetelmä (AFM) on kehitetty 1960-luvulla menetelmänä, jolla poistetaan jäysteitä, kiillotetaan ja työstetään säteitä vaikeasti tavoiteltavissa oleviin sisäpuolisiin pintoihin, kuten komponentteihin jotka sisältävät monimutkaisia geometrioita, reunoja ja risteäviä reikiä, puristamalla hiovaa nestettä komponentin läpi. Abrasiivivirtauskoneita on kolmea eri tyyppiä, yhdensuuntainen AFM,

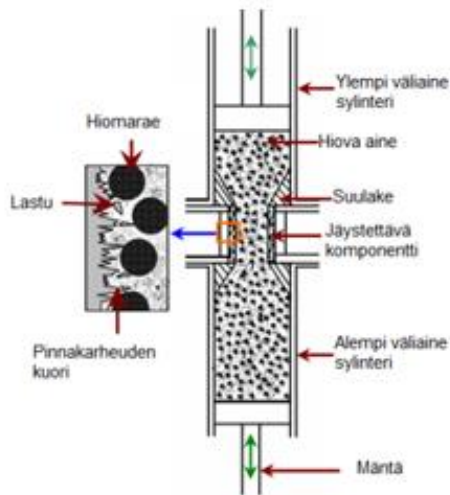
kaksisuuntainen AFM ja kiertävä AFM. AFM nopeuttaa jäysteenpoistoa vaikeasti tavoiteltavissa paikoissa, jotka yleensä vaativat tarkkaa työtä manuaalisesti tehtynä. Tämä prosessi saa aikaan yhtenäisen, toistettavan ja ennustettavan viimeistelytuloksen. AFM:n suurin ero muihin viimeistelyprosesseihin on, että sitä pystyy hallita ja valita esimerkiksi abraasion voimakkuuden ja sijainnin kiinnittimen avulla. Myös erilaisia muita hiovia nesteitä ja prosessin parametreja voidaan valita ja käyttää. AFM:llä on laaja valikoima sovelluksia eri teollisuudenaloille. Esimerkiksi ilmailulle, lääketieteelle, elektroniikalle ja autoteollisuudelle löytyy erilaisia tarkkuuspuristimia ja muotteja. (Ravi ym. 2011, 1.)

2.5.1 Abrasiivinen virtaus menetelmän toimintaperiaate

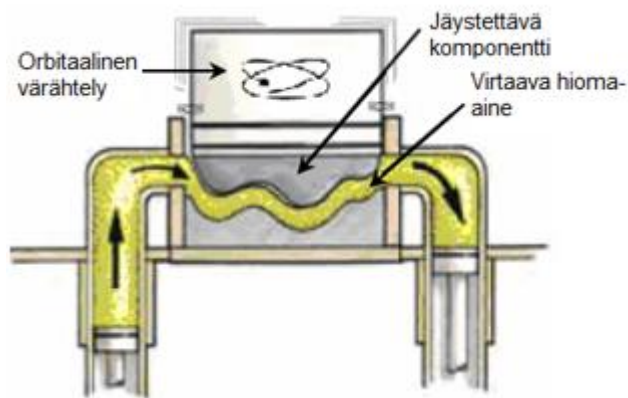
AFM prosessi käyttää joko yhtä pystysuorassa olevaa hydraulisylinteriä tai kahta pystysuorassa vastakkain olevaa hydraulisylinteriä, jotka puristavat hiovaa nestettä edestakaisin jäystettävän komponentin reikien ja onkaloiden läpi. Hiontaa tapahtuu aina, kun väliaine kulkee rajoittavan kanavan läpi. AFM-prosessin keskeiset komponentit ovat kone, työkalut ja hioma-aine. Prosessin eri parametrit, kuten ekstruusiopaine, syklien lukumäärä, rakeisuus ja tyyppi, työkalu- ja kiinnitysmuodot vaikuttavat AFM:n tehokkuuteen, kuten pinnan viimeistelyyn ja materiaalin poistoon. AFM:llä pystyy tekemään jopa $0,05\text{ }\mu\text{m}$:n pinnanlaadun (R_a), jäystämään pieniä reikiä ja onkaloita, joiden koko on $0,2\text{ mm}$ ja tekemään reunoihin $0,025 - 1,5\text{ mm}$ säteen. (Ravi ym. 2011, 1.)



Kuvio 18. Yksisuuntainen AFM toimintaperiaate (mukaillen Ravi ym. 2011, 2).



Kuvio 19. Kaksisuuntainen AFM toimintaperiaate (mukaillen Ravi ym. 2011, 1).



Kuvio 20. Kiertävä AFM toimintaperiaate (mukaillen Ravi ym. 2011, 2).

2.5.2 Hiovat nesteet

Neljä yleisesti käytettyä hioma-ainetyyppiä ovat alumiinioksidi, piikarbidi, boorikarbidi ja timantti. Alumiinioksidi on jähmeä mineraaliaine, joka on erittäin vahva ja taloudellinen korvike timantille. Alumiinioksidi on ihanteellinen hiomavalinta, jos komponentti ei vaadi timantin hiontavoimaa. Alumiinioksidilla on myös erittäin alhainen lämmön varastointi kyky, mikä on haluttu ominaisuus näille prosesseille. Piikarbidi on samanlainen kuin alumiinioksidi kestävyys ja alhaisten kustannusten suhteen. Piikarbidi on kuitenkin parempi valinta kovempien materiaalien leikkaamiseen, johtuen sen erinomaisesta terävyydestä. Sekä boorikarbidi että timantit ovat kovimpia materiaaleja maailmassa, joka tekee niistä erinomaisia hioma-aineita tähän prosessiin. (Marinescu ym. 2004, 369.)

2.5.3 Menetelmän rajoitukset & hyödyt

Abrasiivisen virtausmenetelmän suurimpia rajoituksia on sen matala tuottavuus, mikä tarkoittaa sitä, että jokainen komponentti on jäystettävä yksitellen ja aika vaadittavan pinnanlaadun saavuttamiseen on AFM-prosessissa pidempi kuin muissa viimeistelyprosesseissa. Myös AFM-järjestelmän kallis hankintahinta on yksi rajoittava tekijä. Abrasiivisen virtaus menetelmän hyötyjä on, että se antaa kiillotetulle pinnalle tasaisemman lopputuloksen verrattuna muihin manuaalisiin menetelmiin. Tämä parantaa osien suorituskykyä ja lisää käyttöikää vähentämällä myös kokonaiskustannuksia. Abrasiivisen virtausmenetelmän suurin hyöty on sen monipuoliset käyttöominaisuudet, koska sillä voidaan jäystää, kiillottaa, muotoilla ja poistaa materiaalia samalla kertaa. Abrasiivinen virtausmenetelmä mahdollistaa myös vaikeapääsyisten reikien, sekä onkaloiden jäystämisen ja kiillottamisen. (Ravi ym. 2011, 6.)

2.5.4 Menetelmän soveltuvuus teräslahkojen jäystämiseen

Abrasiivisen virtausmenetelmän käyttö kasvaa auto- ja moottoripyöräteollisuuden keskuudessa, koska sillä voidaan viimeistellä komponentin pinnoista sileitä ja näin ollen parantamaan ilmanvirtausta ja suorituskykyä. AFM-prosessia käytetään nostamaan korkeakierroksisten moottorien suorituskykyä. Prosessilla pystytään viimeistelemään auto- ja lääketieteellisuuden komponentit sekä turbiinimoottorien komponentit. AFM-prosessissa hiova-aine mukautuu jäystettävän komponentin geometrian mukaan, joten monimutkaisetkin muodot voidaan viimeistellä prosessissa helposti. (Ravi ym. 2011, 7-8.)

AFM-menetelmä soveltuu yrityksille jotka valmistavat korkealaatuisia ja suorituskykyä parantavia osia, kuten imusarjoja, suuttimia ja pakosarjoja. Menetelmää voidaan myös käyttää hydraulikka- ja pneumatiikkakomponenttien jäystämiseen, mutta sen käyttö keskittyy pääasissa lääketieteellisuuden ja sairaalatekniikan pariin, sen tuoman korkeanlaadun ja jäysteettömyyden ansiosta. Menetelmän käyttö työkoneiden ja teollisuuden hydraulikka- ja pneumatiikkalahkojen jäystämiseen on mahdollista, mutta hioma-aineiden tuottama erittäin korkea pinnanlaatu ei tuo isoja lisähyötyjä jäystettäville teräslahkoille. AFM

järjestelmän hankintahinta, ylilaadun tuottaminen ja kyky jäystää vain yksittäisiä komponentteja kerrallaan poissulkevat AFM-menetelmän käytön kohde yrityksessä.

2.6 Vesijäysteenpoisto

Vesijäysteenpoistossa korkeapaineinen vesisuihku katkaisee ja murtaa jäysteet työstettävästä komponentista, jäyste irttaa johtuen värähtelevän veden korkeasta kineettisestä energiasta. Vesisuihku poistaa jäysteet muovi- ja metallivaluista sekä muoteista. Sen lisäksi se poistaa ohuet jäysteet koneistetuista komponenteista. Pehmeille materiaaleille käytetään 1000 barin painetta tai pienempää. Koska vesi on sekä puhdistusaine että jäysteenpoistotyökalu, saadaan samalla prosessilla jäystettyä ja puhdistettua komponentit. Vesijäysteenpoistolla on kolme variaatiota. Ensimmäisessä variaatiossa kapeaa vesisuihkuä käytetään kaiken energian keskittämiseen yhteen pisteeseen. Toisessa käytetään levittävää suutinta korkealla vesipaineella kattamaan mahdollisimman suuri alue. Kolmannessa vesisuihkuun lisätään hioma-aineita nopeamman jäystämisen aikabansaamiseksi. (Gillespie 1999, 383.)

Suuria ja paksuja jäysteitä ei voida prosessilla poistaa, mutta kaikki ohuet ja kevyesti kiinnittyneet jäysteet saadaan poistettua. Monille autoteollisuuden komponenteille tämä on riittävä, koska joidenkin komponenttien ensisijainen vaatimus on, että jäysteet eivät irtoa niiden käytön aikana. Tällöin oletus on, että jäysteet eivät irtoa normaalissa toiminnassa, jos ne eivät irtoa vesijäystämisen aikana. Risteävien reikien jäysteet voidaan poistaa prosessilla, jos vesisuihku pääsee kosketuksiin jäysteeseen. Vesijäysteenpoistossa käytettävä paine on satoja ja jopa yli tuhat baaria. Tehokas jäysteenpoisto vaatii oikeanlaisen suuttimen. Suutin pitää suunnitella soveltuvimman vesipaineen mukaan ja suutin pitää kohdentaan oikeaan asentoon ja etäisyyteen jäysteestä. (Gillespie 1999, 383.)

Korkeapaineista vesijäysteenpoistoa ei pidä sekoittaa vesisuihkuleikkaukseen. Jälkimmäisessä käytetään yli 4000 barin työstöpaineita ja siinä käytetään usein hiovia materiaaleja, kuten granaattia tai hiekkaa työstön helpottamiseksi. Sitä vastoin HPWD-käyttöpaineet ovat tyypillisesti 300-700 barin välillä, mutta voivat olla jopa yli 1000 baria. (Bertsche 2007, 107.)

2.6.1 Korkeapaineinen vesijäysteenpoisto

Korkeapaineista vesijäysteenpoistoa (HPWD) korkeapainevesisuihku, ohjataan kohdistetusti komponentin reunoihin ja reikiin jäysteiden poistamiseksi. Tyypillinen työstöpaine on 300-700 baarin välillä. HPWD:n toimintaperiaate perustuu suuttimen pienestä reiästä tulevan veden suureen nopeuteen, aiheuttaen suuren törmäysvoiman, joka poistaa lastuja, pirstaleita ja jäysteitä komponentin sisä- ja ulkopinnalta. Prosessi ei leikkaa tai vaaranna jäystettävän komponentin ominaisuuksia, eikä sitä ole tarkoitettu kappaleiden leikkaamiseen. Menetelmä poistaa turhat materiaalit, jotka ovat seurausta koneistusprosessista ja eivät ole kiinteästi kiinni komponentin pinnassa. Löysästi kiinni olevat jäysteet lähtevät irti, mutta tiukasti kiinnittyneitä jäysteitä, jotka eivät lähde noin 700 bar:in paineella irti, ei voida poistaa. Ainoastaan mikroskoopilla näkyvät ohutreunaiset jäysteet voidaan poistaa. Yleensä korkeapainevesi jäysteenpoistolla ei voida viistää kuin pehmeämpien materiaalien (esimerkiksi alumiinin) reunoja. Kovemmissa materiaaleissa reunat pysyvät terävinä. (Bertsche 2007, 106.)

Sopivimpia materiaaleja vesijäysteenpoistoon ovat pehmeät metallit, valurauta ja materiaalit, joiden vetolujuus on alhainen. Kovemmat materiaalit vaativat korkeampia paineita, kun taas pehmeämmät materiaalit matalampaa painetta. Aika, joka tarvitaan jäysteen poistoon, riippuu koneen tyypistä, pumpun tehosta, suuttimen mallista ja komponentin geometriasta sekä jäystettävien reikien määrästä. Yleisellä työkalulla jäystämisajat ovat yleensä pidempiä, mutta hyvänä puolena on se, että tarvitaan vähemmän asemia. Pumpun mitoitus on suuttimen ja siinä olevien reikien halkaisijan ja lukumäärän funktio. Mitä suurempi virtausnopeus on tietyllä paineella, sitä suurempi pumpun teho on. (Bertsche 2007, 106.)

2.6.2 Menetelmän rajoitukset & hyödyt

Menetelmän rajoituksia on sen kykenemättömyys poistaa paksuja jäysteitä ja sillä ei voida jäystää reikiä jos niihin ei ole suoraa pääsyä. Tämä prosessi vaatii suuttimien tarkan suuntauksen komponenttiin sekä oletettuihin jäysteen muodostumispaikkoihin. Tämä rajoittaa menetelmän tehokasta käyttöä, jos jäysteet muodostuvat aina eri paikkoihin komponentissa. (Gillespie 1980, 19.)

Yksinkertainen testi voidaan suorittaa sen selvittämiseksi, toimiiko prosessi komponenteille, joita aiotaan vesijäystä. Korkeapaineveden törmäysvoima on noin 4,5 kg. Lyijykynää, jonka terän paksuus on 0,5 mm, voidaan käyttää jäljittelemään painetta, minkä 0,9 mm:n suutin synnyttää 480 barin paineella. Jos jäyste voidaan työntää lyijykynällä, se voidaan poistaa korkeapainevesijäysteenpoistomenetelmällä. Jos lyijy katkeaa jäystettä työntäessä, sitä ei todennäköisesti voida poistaa vesijäysteenpoistomenetelmällä. (Bertsche 2009.)

Korkeapainevesijäysteenpoistolla on useita etuja muihin jäysteenpoistomenetelmiin verrattuna. Suurin etu on se, että komponentit ovat puhtaita lastuista ja jäysteistä käsittelyn jälkeen. Esimerkiksi manuaalisessa jäysteenpoistossa laatu ei ole aina tasaista ja komponentin sisäisiä geometrioita on erittäin vaikea jäystä tarkasti. Samoin robotisoidulla jäysteenpoistolla haastavia sisäisiä geometrioita ei aina voida kunnolla jäystä. Lisäksi jäystämisen jälkeen komponentit on silti aina erikseen puhdistettava. (Bertsche 2007, 106.)

2.6.3 Menetelmän soveltuvuus teräslohkojen jäystämiseen

Korkeapainevesijäysteenpoisto sopii erittäin hyvin kohteisiin, jotka vaativat vaikeapääsyisten reikien tai onkaloiden jäystämistä, osien huolellista puhtautta, tasaista laatua tai osia ei voida altistaa kuumuudelle tai syövyttävälle kemikaaleille. Vesijäysteenpoisto on erittäin hyvä monessa suhteessa. Se on ympäristöystävällinen, eikä siinä käytetä hiovia tai syövyttäviä kemikaaleja. (Bertsche 2007, 106.)

Korkeapainevesijäysteenpoiston käyttö kohdeyrityksessä on vartenotettava vaihtoehto sen mahdollistaessa komponentin jäystämisen ja puhdistamisen samassa prosessissa (Bertsche 2007, 106). Menetelmä soveltuu teräslohkojen jäystämiseen, jos jäysteet muodostuvat aina samoihin paikkoihin ja jäystettäviin reikiin ja onkaloihin on suora pääsy (Gillespie 1980, 19). Kun jäysteiden muodostuminen on satunnaista ja ne muodostua eri paikkoihin on korkeapainevesijäysteenpoistomenetelmän käyttäminen haastavaa ja prosessissa käytettävien suuttimien kohdentaminen jäysteisiin ongelmallista (Gillespie 1980, 19). Alla olevassa kuvassa (kuva 10) on esitelty Suginon valmistama

korkeapainevesijäysteenpoisto kone, jonka työstöpaine on maksimissaan 2450 baaria.



Kuva 10. HPWD JCC 603 Robo (Sugino Corp 2020).

2.7 Jäysteenpoisto koneistuskeskuksessa

Perinteisesti jäysteet ja terävät reunat poistetaan manuaalisesti hiomakoneilla ja muilla sähkö- sekä paineilmatyökailulla. Tällaiset menetelmät ovat hitaita ja vaativat työstettävän komponentin poistamista työstökoneesta, että se voidaan jäystää. Lisäksi laadun tasaisuus manuaalisessa jäysteenpoistossa on lähes mahdotonta saavuttaa. Korkeamman komponenttilaadun, alhaisempien työvoima- ja tuotantokustannusten sekä korkeamman tuotantomäärän saavuttamiseksi erityistä huomiota on kiinnitetty CNC-koneiden käyttöön. Niillä pystytään jäystämään ja viimeistelmään tarkasti porattuja reikiä sekä tasaisia ja kaarevia pintoja. CNC-koneet tarjoavat automatisoidun, helpon ja nopean työkalunvaihdon, mikä nopeuttaa tuotantoa ja jäysteenpoistoprosessia, vaikka jäystämiseen käytettäisiin useampia eri työkaluja. CNC-koneiden etuja verrattuna manuaaliseen jäysteenpoistoon ovat toistuvien liikkeiden välttäminen, parempi tarkkuus sekä tasainen pinnanlaatu. Näiden elementtien yhdistelmä voi johtaa merkittäviin tuotantokustannusten alenemiseen. (Niknam ym. 2017, 1114.)

2.7.1 Mekaaninen särmien profilointi (MEP)

Vaihtoehtona manuaaliselle jäysteenpoistolle on mekaaninen särmien profilointi (MEP), jolla voidaan poistaa ei-toivotut jäysteet ja terävät reunat komponentista, käyttämällä samaa työstökonetta, johon on lisätty siihen tarkoitettu MEP-työkalu (kuva 11). MEP-prosessin avulla reunan muoto voidaan määritellä tarkasti ja ohjelmoida kone CAM-ohjelman avulla, mikä johtaa maksimaaliseen toistettavuuteen. Komponenttien kokonaistuotantoaika lyhenee, koska komponentteja ei tarvitse erikseen poistaa koneesta ja kiinnittää uudelleen jäysteenpoistoa varten. Myös toleranssien vaihtelut ja muut epä johdonmukaisuudet poistuvat. (Miller 2016.)

Tehokkaan MEP:in käyttö vaatii sitä, että se sisällytetään varsinaiseen työstöohjelmaan mukaan maksimaalisen tarkkuuden, johdonmukaisuuden ja tuottavuuden saavuttamiseksi. Jäysteenpoiston tulee tapahtua vasta, kun kaikki työstövaiheet on suoritettu loppuun. CAM-ohjelma ohjaa MEP-työkaluja jäystämään kaikki reiät ja viistämään teräviä reunoja järjestyksessä. MEP-työkaluja voidaan käyttää erilaisten reikien ja onkaloiden jäystämiseen ja joitain profilointityökaluja voidaan käyttää eri paikkoihin ja pintoihin, kuten reikien ja pykälien pohjien muotoiluun. Särmien profiloinnin onnistumisen kannalta on tärkeää varmistaa, että työstö tapahtuu oikeassa paikassa ja oikea määrä materiaalia poistetaan. Komponentin reikä tai jäystettävä pinta on määritettävä tai mitattava ennen MEP-työstön aloittamista. Jos komponentin toleranssit ovat erittäin tiukkoja, kappaleen pinta tulee määritellä hyvin. (Miller 2016.)



Kuva 11. MEP-työkalu (Seco Tools Oy 2020).

2.8 Jäysteenpoistotyökalut koneistuskeskuksessa & robotissa

Koneistuskeskuksessa tapahtuvan jäysteenpoiston haittoja on uusien jäysteiden syntyminen, komponentin mittojen sekä toleranssien muuttuminen (Monteiro 2014, 113). Koneistuskeskuksessa tapahtuvan jäysteenpoiston etuja on sen kustannustehokas hinta. Jäysteenpoiston hinta muodostuu pitkälti jäysteenpoistoon tarvittavien työkalujen hankinnasta. Suurin hyöty koneistuskeskuksessa tapahtuvasta jäysteenpoistossa on se, että ne voidaan jäystää suoraan työstöohjelman valmistuttua eikä komponentteja tarvitse erikseen irroittaa (Weiler Abrasives Group 2019, 8). Tämä tehostaa jäysteenpoistoprosessia huomattavasti (Scheider 1990, 147).

2.8.1 Menetelmän soveltuvuus teräslohkojen jäystämiseen

Koneistuskeskuksessa tapahtuva jäysteenpoisto on hyvä vaihtoehto yrityksille, joilla on mahdollisuus lisätä työstöaikoja aiheuttamatta pullonkaulaa tuotantoon. Menetelmän taloudellisuus perustuu yritykselle hankituiden koneistuskeskusten käyttöön. Näihin löytyy jäysteenpoistoon erikseen tarkoitettuja työkaluja ja istukoita. Tämän myötä löytyy jo tarvittavat työstökeskukset. (Harvey Performance 2018.)

Jäysteenpoiston toteutus koneistuskeskuksessa on taloudellisesta näkökulmasta hyvä vaihtoehto ja soveltuu oikeilla työkaluilla teräslohkojen jäystämiseen. Kun jäysteenpoisto tapahtuu koneistuskeskuksessa, nostaa se vääjäämättä kokonaistyöstöaikoja, mutta sen tuomat edut ovat suuremmat kuin haitat. Menetelmän kustannukset koostuvat hankittavista jäysteenpoistotyökaluista, työstöohjelmien teosta ja palkkakustannuksista. Menetelmän hyötyjä on robotisoituun ja manuaaliseen jäysteenpoistoon verrattuna koneistuskeskuksen suuri paikoituistarkkuus ja kappaletta ei tarvitse erikseen irroittaa jäysteenpoistoa varten, jolloin säästyy aikaa ja kyetään poistamaan turha työvaihe (Harvey Performance 2018). Menetelmän huono puoli on mahdollisten uusien jäysteiden muodostuminen, mutta niiden välttäminen on mahdollista, kun työstöarvot ovat oikeat. (Monteiro 2014, 113).

2.8.2 Keraamiset harjat & kivet reikien viimeistelyyn ja risteävien reikien jäysteenpoistoon

Keraamiset harjat (kuva 12) voidaan kiinnittää työstökoneeseen tavanomaisella istukalla. Harjoja ei voida käyttää sorvilla yleensä ilman pyörivää työkalua, koska lastuamisnopeus säädetään sorvin pakan pyörimisellä ja työkalu voi työstää silloin normaalisti vain pyörimiskeskiössä. Hiomavoima kohdistuu yleensä vain harjan kärkeen. Pyörittämällä syntyvää keskipakovoimaa käyttämällä harjan kärki poistaa jäysteen ja viimeistelee pinnan. Punainen harja on tarkoitettu muovien, teräksien ja muiden kuin rautametallien sisäpuoliseen jäysteenpoistoon. Sininen harja on taas jäykempi harja ja sillä voidaan jäystää teräksiä, ruostumattomia teräksiä ja valurautoja. Punaisia harjoja löytyy 2-20 mm halkaisijalla ja sinisiä harjoja on saatavilla 5-20 mm halkaisijalla.



Kuva 12. Xebec keraaminen harja (Oy FMS-Tools Ab 2020).

Keraamiset jäysteenpoisto- ja viimeistelyharjat (kuva 13) soveltuvat käyttöön koneistuskeskuksilla, sorveilla ja roboteilla ja niillä voidaan poistaa jäysteitä sekä viimeistellä jyrsittyjä, sorvattuja, valettuja ja meistattuja pintoja. Jäysteet voidaan poistaa 0,2 mm vahvuuteen saakka. Saavutettavat pinnan karheudet (Ra) ovat 0,2 µm, lähtöpinnankarheuden ollessa (Ra) 0,8µm

Harjoja löytyy neljää eri jäykkyyttä. Pinkki harja on sarjain pehmein ja se on tarkoitettu muovien ja alumiiniosien jäysteenpoistoon. Punainen harja on pehmeä harja ja sillä voidaan jäystää teräksiä, ei rautametalleja ja muoveja. Valkoinen harja on sarjassa jäykempi harja, joka on tarkoitettu ruostumattomille teräksille, teräksille ja ei-rautametalleille. Sininen harja on sarjan jäykin harja, joka on tarkoitettu valuraudoille, teräksille ja ruostumattomille teräksille.



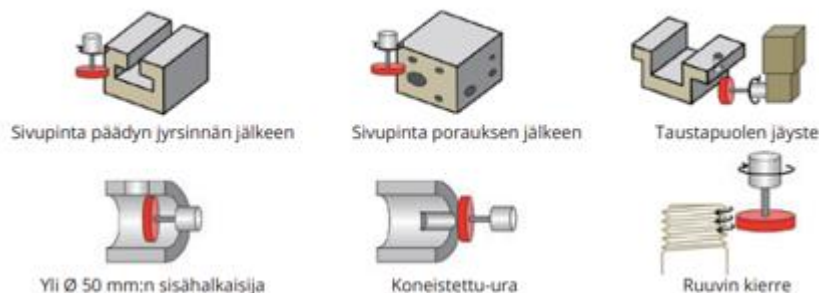
Kuva 13. Xebecin keraaminen harja ulkopuoliseen jäystämiseen (Oy FMS-Tools Ab 2020).

Keraamiset kiekkoaharjat (kuva 14) soveltuvat ulko- ja sisäpuolisten pintojen jäysteenpoistoon ja viimeistelyyn. Esimerkiksi sivupintojen, taustapintojen, kierteiden ja yli 50mm reikien jäysteiden poistoon/viimeistelyyn. Harjoja on saatavana 50 ja 75 mm halkasijalla



Kuva 14. Keraaminen kiekkoaharja (Oy FMS-Tools Ab 2020).

Käyttökohteita



Kuvio 21. Kiekkoaharjan käyttökohteita (Oy FMS-Tools Ab 2020).

BRM Flex-Hone® -työkalua (kuva 15) käytetään risteävien reikien jäystämiseen, työkalua voidaan käyttää joko robotisoidussa jäysteenpoistossa tai koneistuskeskuksessa. Työkalua on saatavilla 4–914 mm halkaisijalla ja hiova-aine pinnoitteita löytyy useita erilaisia, kuten silikonikarbidi, boorikarbidi, alumiinioksidi ja volframikarbidi. Hiomatyökalun karkeuksia on saatavilla 20–800 karkeudella. (Brush Research Manufacturing Co. 2020.)



Kuva 15. BRM Flex-Hone® (Brush Research Manufacturing Co. 2020).

Keraamiset viimeistelykivet (kuva 16) joustavilla teräsvarsilla soveltuvat risteävien reikien ja sisäpuolisten pienten tarkkojen muotojen viimeistelyyn. Viimestelykiviä on saatavilla kolmella eri karkeudella, harmaa 220, oranssi 400, sininen 800. Viimestelykivien halkasijat lieriökivissä 3-6mm ja pallokivissä 3-10mm.



Kuva 16. Keraamiset viimeistelykivet sisäpuoliseen jäysteenpoistoon (Oy FMS-Tools Ab 2020).

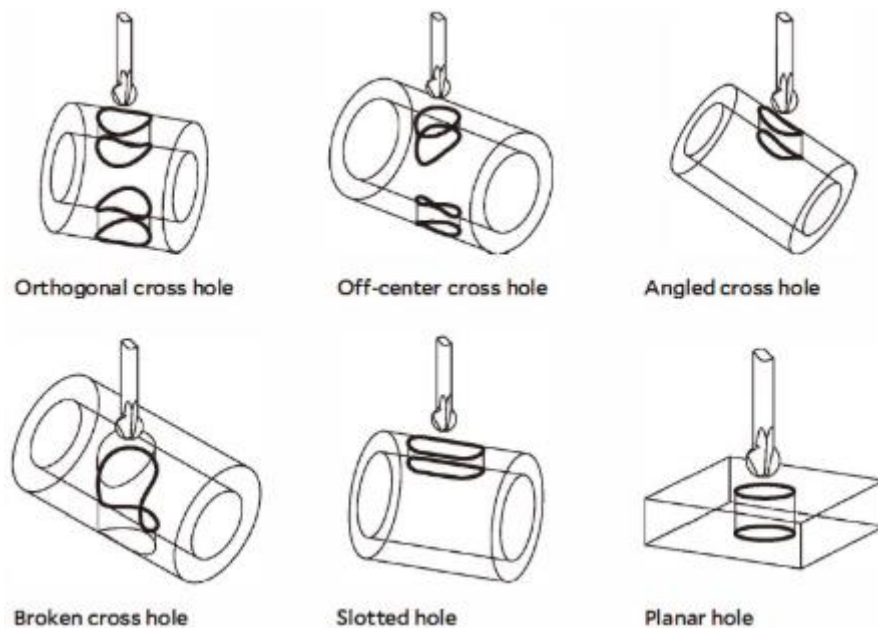
2.8.3 Xebec kovametalliset pallopääjyrsimet

Kovametalli pallopääjyrsimet (kuva 17) mahdollistavat pienten reunaviisteiden teon erilaisiin reunaviivoihin. Kaksoiskaarevien pintojen osalta edellytetään kuitenkin CAM-ohjelman käyttöä NC-koodin luomiseksi. Toisin kuin keraamiset kivet,

täyskovametalliterät eivät jousta, vaan työstöratojen on oltava kolmeakselisia. Pallopääjyrsimiä on saatavilla 0,8-5,8 mm halkaisijalla ja 120-180 mm pitkällä varrella. Kuvassa 15 on esitelty käyttökohteita pallopääjyrsimelle.



Kuva 17. Xebec kovamettali pallopääjyrsimet (Oy FMS-Tools Ab 2020).



Kuvio 22. Pallopääjyrsimen käyttökohteita (Kemet International Limited 2019).

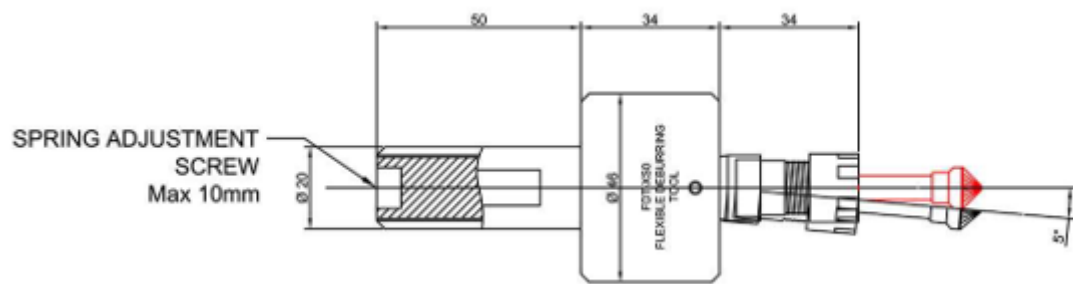
2.8.4 Joustavat työkalut koneistuskeskukseen

FDT SX0 (kuva 18) on joustava jäysteenpoistotyökalu, joka on tarkoitettu komponentin työstön aikana syntyneiden jäysteiden poistamiseen. FDT SX0 joustaa radiaalisesti ja kykenee sen avulla myötäilemään komponentin reunoja. Se

voi kompensoida 5-10 mm reunapoikkeamia. Painatusta komponentin reunaa vasten voidaan säätää sisäänrakennetulla mekanismilla. Tämä mahdollistaa FDT SX0:n ohjaamisen suoraan työstökoneenkaran kautta.



Kuva 18. FDT SX0 (Aks Teknik Deburring And Marking Technologies. 2020).



Kuvio 23. Havainnekuva FDT SX0:n radiaalisesta joustosta (Aks Teknik Deburring And Marking Technologies. 2020).

Suginon valmistama Barriquan-merkkinen jäysteenpoistotyökalu (kuva 19) myös FDT SX0:n tapaan joustaa, mutta jousto on Suginon työkaluilla aksiaalista. Suginon BC10-20 pystyy maksimissaan joustamaan 10 mm sisäänpäin ja vastaavasti BCT10-10 voi maksimissaan joustaa 10 mm ulospäin, mikä mahdollistaa komponentissa olevien läpireikien pohjien jäystimisen.



Kuva 19. Sugino Barriquan BC10-20 jäysteenpoistotyökalu (Sugino Corp 2020).

2.8.5 Robotisoidussa jäysteenpoistossa käytettävät työkalut

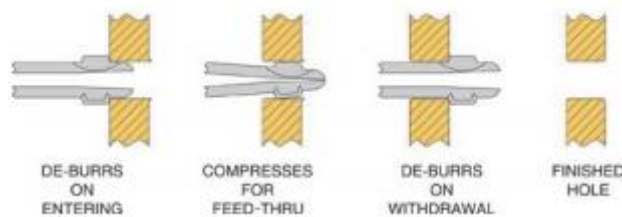
Tärkein oheislaite robotisoidussa jäysteenpoistossa on jäystettävän komponentin kiinnityslaite. Tämä laite voi olla yksinkertainen kiinnityspöytä, indeksipöytä tai manipulaattori riippuen komponentin geometriasta ja olosuhteista, kuten syklijajasta. Kun jäystettävän komponentin koko on suurempi kuin robotin työalue, on käytettävä robottirataa. Oikean jäysteenpoistotyökalun valinta on erittäin kriittistä prosessin onnistumisen kannalta, ja siksi se on olennainen osa jäysteenpoisto prosessia. Tärkein kriteeri jäysteenpoistomenetelmän valinnassa on kokonaistuotantokustannusten minimointi. Ensisijaiset tekijät, jotka on otettava huomioon menetelmää valittaessa, ovat tuotantomäärä, sykli aika, materiaalin ominaisuudet, toleranssit, geometria ja komponentin mitat. Toissijaiset tekijät ovat jäystettä muodostavan prosessin tutkiminen ja jäysteenpoiston tarkoitus. Paras ratkaisu voidaan saada vasta, kun kaikki nämä olosuhteet on tutkittu perusteellisesti. (Low 2007, 610.)

2.8.6 Reikien & onkaloiden jäysteenpoistotyökalut

Reiän sisäpinnan jäystämisessä on kaksi huomioitavaa asiaa. Ensimmäinen on, kun reiän halkaisija on suurempi kuin 25 mm, voidaan käyttää yleisesti pyörivää työkalua, jolla on suuri nopeus (15 000 rpm ja suurempi). Toiseksi, kun reiän

halkaisija on pienempi kuin 25 mm, käytetään erikoistyökaluja tai senkkausteriä, joiden nopeus on alhainen (30–60 m / min). (Low 2007, 612.)

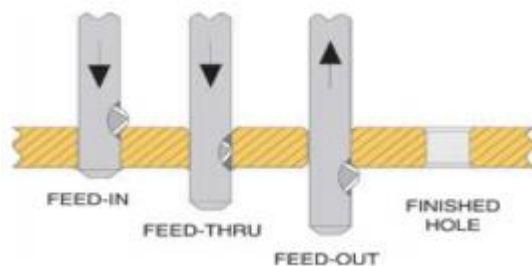
Alla olevassa kuviossa 24 on kuvattu pyykkipojan tyylinen jäysteenpoistoerikoistyökalun toimintaperiaate. Kuviossa 25 on kuvattu toinen reiän jäystämiseen tarkoitettu erikoistyökalun toimintaperiaate.



Kuvio 24. Pyykkipoikatyökalun toimintaperiaate (Whitney Tool Company 2020).



Kuva 20. Pyykkipojan tyylinen jäysteenpoistotyökalu (Whitney Tool Company 2020).



Kuvio 25. Erikoistyökalun toimintaperiaate (Whitney Tool Company 2020).



Kuva 21. Reiän jäystämiseen tarkoitettu erikoistyökalu (Whitney Tool Company 2020).

2.8.7 Jyrsinterät, taipuvat pallopääjyrsimet & jäysteenpoistoveitset

Yleisimmät työkalut robotisoituun jäysteenpoistoon ovat pyörivät jyrsinterät (kuva 22). Pyörivä jyrsin antaa tarkan ja ennustettavan tuloksen. Lisäksi työkalu on pieni, sillä on pitkä käyttöikä ja erilaisia muotoja ja materiaaleja on helposti saatavana. Siksi työkalujen oikea valinta on erittäin tärkeää. (Low 2007, 614.)



Kuva 22. Viilat ja jyrsimet robotisoituun jäysteenpoistoon (ATI Industrial Automation 2020).

Robotisoidussa jäysteenpoistossa on mahdollista käyttää useita samanlaisia työkaluja kuin manuaalisessa jäysteenpoistossa. Tästä hyvä esimerkki on jäysteenpoistoveitsi (kuva 23). Työkalu on samanlainen kuin manuaalisessa jäysteenpoistossa käytetty veitsi, mutta se on kiinnitetty robotin työkalukaraan, mikä mahdollistaa komponentin nopeamman ja tarkemman jäysteenpoiston.



Kuva 23. Robotin työkalukarassa käytetty jäysteenpoistoveitsi (ATI Industrial Automation 2020).

Robotin työkalukaraan ja koneistuskeskuksiin on saatavilla myös taipuvia pallopääjyrsimiä (kuva 24), ne mahdollistavat hankalinkien reikien, onkaloiden ja risteävien kanavien jäystämisen työkalun taipuisuuden ansiosta. Taipuisia pallopääjyrsimiä on saatavilla 2,7-10,3 mm halkaisijalla.



Kuva 24. Taipuisat pallopääjyrsimet (Lestoprex AG 2020).

2.8.8 Harjat, putkiharjat & nauhahiomatyökalut

Hiomanauhat on valmistettu päällystetyistä hioma-aineista, joissa on taustapaperina paperi, kangas, tai hiova kuitukangas. Harjat on valmistettu nailonista tai teräksestä, johon on kyllästetty alumiinioksidia tai piikarbidia. Tehokkain hionta tapahtuu harjan kärjellä. Yleensä hiomanauha on tehokas suoraviivaisiin reunoihin ja harja on tehokas kulmiin. Jäysteenpoistoa suoritettaessa harjaamalla voidaan käyttää kahta erilaista tapaa. Ensimmäinen tapa on, että robotti pitää kiinni työstettävää komponenttia ja lähestyy lattiaan tai pöytään asennettua harjapyörää (kuvassa 25). Toinen tapa on, että robotin karaan on asennettu kiinni harja ja lähestytään sillä puristimeen kiinnitettyä komponenttia (kuva 26). Tässä tapauksessa harjapyörän halkaisija on yleensä alle 60 mm ja karamoottorin nopeus ei ylitä 15 000 rpm. Kun jäysteet ovat helposti poistettavissa, kuten esimerkiksi komponentin ulkoreunoilla tai kulmissa, silloin robottiin kiinnitetty pieni hiomakone antaa hyvän lopputuloksen. (Low 2007, 612.)



Kuva 25. Pöytään asennetut jäysteenpoistoharjat (Acme Manufacturing Co 2020).



Kuva 26. Jäysteenpoistoharja robottiin (ATI Industrial Automation 2020).

Robotille ja koneistuskeskukselle on saatavilla myös eri kokoisia ja eri materiaalista valmistettuja putkiharjoja (kuva 27). Putkiharjoja on saatavilla 1,2-100 mm halkaisijalla ja hionta karkeuksia on saatavilla 120, 600 ja 1000. Harjat on tarkoitettu risteävien reikien, o-rengasurien, suutinten ja erilaisten hydraulikka kanavien puhdistukseen ja jäysteenpoistoon.



Kuva 27. Teräslangasta ja messingistä valmistetut putkiharjat (Hoffmann Group GmbH 2020).

2.8.9 Karamoottorin valinta robotisoituun jäysteenpoistoon

Karamoottori pyörittää jäysteenpoistotyökalua, väristää työkalua akselin suunnassa ja toisinaan pyörittää työkalupalletta, kun se on tarpeeksi pieni ja kevyt. Karamoottorit luokitellaan nopeuden mukaan seuraavasti. (Low 2007, 611.)

- Nopeat karamoottorit (15000 rpm ja korkeampi) kiinteiden jäysteenpoistoterien pyörittämiseen.
- Keski nopeat karamoottorit (10000 - 15000 rpm) sopivat käytettäväksi harjoilla, joiden halkaisija on 60 mm tai vähemmän.
- Pieni nopeuksiset karamoottorit (500 - 1500 rpm) työkaluille, jotka on tarkoitettu erityissovelluksiin, kuten reiän sisäpinnan jäysteenpoistoon.

Pneumaattista karaa käytetään tyypillisesti pienen nopeuden karamoottorissa ja suurempia nopeuksia varten käytetään sähkökaramoottoria ja korkeataajuus karamoottoria. Pneumaattinen kara on yleisimmin käytetty. Suurin nopeus on 30 000 rpm ilman kuormitusta ja nettoteho voi olla jopa 550 wattia. Pneumaattinen kara on suhteellisen halpa, luotettava ja hyvä teho–painosuhde. Karaa valittaessa on ensisijaisesti otettava huomioon paineilmakara, koska se on taloudellisin ja luotettavin. Kun useille työkaluille vaaditaan eri nopeudet, on käytettävä korkeataajuus karamoottoria ja automaattista työkalunvaihdinta sisältävää työkaluadapteria. Korkeataajuus karamoottoria ohjaa muunnin ja se muuttaa karan nopeutta helposti laajallakin alueella nopeasti. Korkeataajuus karamoottorit ovat kuitenkin kalliita ja jos vaaditaan vain kahta nopeutta, jotka eivät muutu, niin korkeataajuus karamoottorin hankkimisen sijaan tulisi miettiä kahden halvemman paineilmakaran hankintaa. (Low 2007, 611.)

3 INVESTOINITILASKENTA

Yrityksen toiminnan kehittäminen vaatii investointeja, jotka liittyvät pitkän aikavälin toimintaedellytysten ylläpitämiseen ja toiminnan kehittämishankkeisiin, esimerkiksi laajentamiseen. Investoinneista päättäminen on keskeinen osa strategista suunnittelua. Tärkeä yhteys investointisuunnittelun ja toteuttamisen välillä on budjetointi, sillä ne kohdentavat suunnitelmat vuositasolle. Budjettiohjaus puolestaan varmistaa, että suunnitellut investoinnit on mahdollista suorittaa investointeihin varatuin varoin. Investoinnilla tarkoitetaan varojen käyttöä kohteisiin, jotka tuottavat tuloa pitkällä aikavälillä, tyypillisesti yli vuoden mittaisella jaksolla. Investoinnit voivat liittyä aineellisiin hyödykkeisiin, kuten rakennuksiin, erilaisiin tuotantovälineisiin, laitteistoihin, kuljetusvälineisiin ja kalusteisiin tai aineettomiin hyödykkeisiin eli henkilöstön pitkäaikaiseen koulutukseen, tutkimukseen ja tuotekehitykseen sekä brändeihin ja tavaramerkkeihin. (Järvenpää ym. 2017, 374.)

3.1 Takaisinmaksulaskenta

Takaisinmaksuajanmenetelmässä investoinnin kannattavuutta seurataan sillä, kuinka nopeasti investoinnin hankintameno tulee katetuksi sen tuottamilla nettotuotoilla. Laskukaava takaisinmaksuajan menetelmässä on seuraavanlainen: (Järvenpää ym. 2017, 388.)

$$\frac{\text{Investoinnin hankintameno}}{\text{Vuotuiset nettokassavirrat}} = \text{Takaisinmaksuaika} \quad (1)$$

Takaisinmaksuajan käyttö investointien arvioinnissa perustuu siihen, että se korostaa lähitulevaisuudessa saatavien kassavirtojen merkitystä. Tämä on tärkeää erityisesti niille yrityksille, joille kassavirta voi aiheuttaa selkeän rajoitteen. Epävarmassa ympäristössä lähitulevaisuus on ratkaisevassa asemassa, koska kauempaa tulevaisuudesta saatavat kassavirrat ovat erityisen epävarmoja ja investoinnin valinnan perustaminen niiden varaan voi johtaa harhaan. Takaisinmaksuaika on myös hyvin helppo laskea. Käytännössä takaisinmaksuajalle määritellään yrityksissä maksimiaika (esim. enintään kolme vuotta), jota pidempiä

takaisinmaksuaikoja ei investoinneille hyväksytä. Takaisinmaksuaikaa käytetään hyvin usein muita investoinnin arviointimenetelmiä täydentävänä menetelmänä. Sen käyttöön liittyy myös ongelmia. Keskeisimpänä voidaan pitää sitä, ettei se huomioi takaisinmaksuajan jälkeisiä kassavirtoja millään tavalla. Tämän vuoksi se ei mittaa investoinnin kannattavuutta. Tämän lisäksi takaisinmaksuajan laskemisessa ei oteta huomioon investointien tuottovaatimusta, eikä se siten huomioi eri kassavirtaerien syntyajankohtia. Tätä puutetta on pyritty korjaamaan käyttämällä laskemisessa diskontattuja kassavirtoja. (Ikäheimo ym. 2019, 184.)

3.2 Sisäinen korkokanta

Investoinnin sisäinen korkokanta ilmoittaa sen investoinnin tuottotason, jolla investoinnin nettonykyarvo on 0. Tällöin sisäisellä korkokannalla diskontatut investoinnin nettotuotot ovat alkuinvestoinnin suuruiset. Sisäinen korkokanta osoittaa investoinnin rahoituksellisen kriittisen pisteen eli sen, millä tuottotasolla investointi vielä on kannattava. Sisäistä korkokantaa käytettäessä investoinnin kannattavuutta arvioidaan vertaamalla laskettua sisäistä korkoa investoinnin tuottovaatimukseen. Jos investoinnin tuottovaatimus on sisäistä korkoa suurempi, investointi ei ole kannattava. Jos sisäinen korko puolestaan on tuottovaatimusta suurempi, investointi on kannattava. Sisäinen korko on aina suurempi kuin siltä edellytetty tuottovaatimus, kun hankinnan nettonykyarvo on positiivinen. (Järvenpää ym. 2017, 384.)

$$\sum_{t=1}^n \frac{kassavirta}{(1+IRR)^t} + \frac{jäännösarvo}{(1+IRR)^n} - hankintameno \quad (2)$$

Missä n = investoinnin pitoaika, t = aika, IRR = sisäinen korkokanta.

Sisäisen korkokannan menetelmässä on joitakin epäkohtia. Ensimmäinen liittyy sen oletukseen, että investoinnista vapautuva pääoma voidaan sijoittaa vaihtoehtoiseen sijoituskohteeseen, joka tuottaa sisäisen korkokannan verran. Tämä on epärealistinen oletus, sillä yleensä vaihtoehtona on sijoittaa johonkin toiseen investointikohteeseen. Toisena epäkohtana on se, että sisäinen korkokanta voi antaa useita vastauksia, jotka kaikki ovat laskennallisesti täysin oikeita. Tämä voi tulla vastaan tilanteissa, joissa investoinnin nettokassavirrat ovat alkuinvestoinnin

jälkeen myös myöhemmässä vaiheessa negatiivisia, eli kassasta lähtee enemmän rahaa kuin kassaan tulee. (Ikäheimo ym. 2019, 185.)

3.3 Laatu ja muut kannattavuuden tekijät

Investointi jäysteenpoistojärjestelmän automatisointiin on kannattava sen mahdollistaessa tuotannon kasvun, kun kyetään jäystämään komponentteja nopeammin ja enemmän samassa ajassa kuin manuaalisesti (ks. luku 2.3.2). Manuaalisen jäysteenpoiston tuomia laatueroja voidaan yrityksessä Componenta Manufacturing Oy Machining Kurikka vähentää tai poistaa kokonaan investoimalla robotisoituun, termiseen tai koneistuskeskuksessa tapahtuvaan jäysteenpoistoon. Koska mainittujen menetelmien suurimmat edut ovat toistotarkkuus ja jäysteenpoiston nopeus, joka oli yrityksen tavoite jäysteenpoistolle. Näistä menetelmistä koneistuskeskuksessa tapahtuvassa jäysteenpoistossa on suurin tarkkuus ja terminen jäysteenpoisto olisi nopein.(ks. luku 2.4). Investointi uuteen jäysteenpoistomenetelmään on tässä tapauksessa hyvin perusteltua jo pelkästään komponenttien laadun kohoamisella ja tuotannon pullonkaulan poistamisella.

4 TULOKSET

Opinnäytetyön tuloksena syntyi kolme mahdollista jäysteenpoistomenetelmä vaihtoehtoa. Menetelmän valintaan eniten vaikuttavat tekijät olivat taloudellisuus, jäystämisen prosessin tarkkuus, komponenttien jäysteettömyys prosessin jälkeen ja jäystettävien komponenttien läpimenoaika. Menetelmistä laadittiin matriisi, jossa arvioitiin ja pisteytettiin eri menetelmien kyvykkyys suoriutua tuotantoon tulevien teräslohkojen jäystämisestä. Tällä mitataan yrityksen näkökulmasta tärkeitä asioita jäysteenpoistossa, mikä helpottaa sopivan jäysteenpoistomenetelmän valinnassa. Kuudesta menetelmästä jatkoselvitykseen päätyi robotisoitu, terminen ja koneistuskeskuksessa tapahtuva jäysteenpoisto.

Abrasiivinen virtausmenetelmä suljettiin pois jatkoselvityksestä, koska sillä voi jäystää vain yksittäisiä komponentteja kerrallaan, menetelmän hitauden ja ylilaadun tuottamisen takia (Ravi ym. 2011, 6). Kolmesta jatkoselvitykseen päätyneestä menetelmästä halvin on koneistuskeskuksessa tapahtuva jäysteenpoisto ja kallein terminen jäysteenpoistomenetelmä. (ks. luku 2.4.3)

Termisellä jäysteenpoistomenetelmällä kyetään poistamaan jäysteet hankalistakin paikoista ja prosessin kestäessä vain sekunnin murto-osia tekee se siitä edellä mainittuihin menetelmiin verrattuna tästä tehokkaimman tavan poistaa jäysteitä komponentista (Halladay 2011, 2). Sen etuja on kyky poistaa jäysteet kierteistä vahingoittamatta niitä ja mahdollisuus suurten tuotantosarjojen jäystämiseen tehokkaasti (Halladay 2011, 2). Myös kiinteät valmistuskustannukset voidaan mieltää hyväksi puoleksi (Halladay 2011, 3). Huonoja puolia on sen vaatima pesu prosessin jälkeen ja sen heikko kyky poistaa paksuja roikkuvia jäysteitä. Myös jäysteenpoistokammion koko rajoittaa jäystettävien komponenttien mittoja ja jäystettävä materiaali pitäisi olla hapettava, hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. (Halladay 2011, 6.)

Robotisoitu jäysteenpoisto sekä jäysteenpoisto koneistuskeskuksessa tapahtuu lähes samanlaisilla työkaluilla, mutta suurimmat erot näiden menetelmien välillä on paikoitustarkkuus ja työstötarkkuus (Niknam ym. 2017, 1114). Koneistuskeskuksessa tapahtuvassa jäysteenpoistossa komponenttia ei tarvitse erikseen paikoittaa ja irroittaa jäysteenpoistoa varten, kun se on jo valmiiksi tehty

komponenttia työstettäessä, mikä nopeuttaa jäystämisprosessia (Niknam ym. 2017, 1114). Robotisoidun hyötyjä on sen mahdollisuus työskennellä jatkuvasti, synnyttäen keskeytymättömän tuotannon. Myös komponenttien laadun tasaisuus on robotisoidun ja koneistuskeskuksen etuja. Menetelmien huono puoli on niiden kyvyttömyys jäystää reikiä, joihin ei ole suoraa pääsyä. Lisäksi saattaa syntyä jopa uusia jäysteitä prosessin aikana (Monteiro 2014, 113). Koneistuskeskuksessa tapahtuvassa jäysteenpoistossa työkalujen hankinta, jäysteenpoisto ohjelman teko ja palkkakustannukset synnyttävät suuren osan kustannuksista, kun taas robotisoidussa jäysteenpoistossa kustannukset koostuvat robottisolusta, ohjelmien teosta ja hankittavista työkaluista. Näitä ei kuitenkaan laskettu ja vertailtu tarkemmin, koska siinä olisi ollut liian iso lisätyö tässä opinnäytetyössä. Laskelma olis myös sisältänyt paljon epämääräysystekijöitä, joten tulos ei olisi ollut ehkä luotettava. Alla olevassa matriisitaulukossa 1, on esitelty eri menetelmien soveltuvuus jäystää teräslohkoja.

Taulukko 1 Jäysteenpoistomenetelmän valintamatriisi.

	Manuaalinen jäysteenpoisto	Robotisoitu jäysteenpoisto	Terminen jäysteenpoisto	Abrasiivinen virtaus menetelmä	Vesijäysteen poisto	Jäysteenpoisto koneistuskeskuksessa		
Suuret eräkoot	1	2	3	1	2	3		
Tarkkuus	1	2	3	3	2	3		
Pienten reikiä & onkaloiden jäyistäminen	1	2	3	3	2	3		
Kierteiden jäyistäminen	1	2	3	3	2	3		Hyvä
Pinnanlaatu	1	3	3	3	2	3		Kohtalainen
Hankintahinta	3	2	1	1	1	3		Huono
Ylimääräisten Lastujen poisto	3	2	2	2	3	2		
Ulkopintojen jäyistäminen	2	3	3	3	2	3		
Jäyistämis aika (alle 3 min)	1	2	3	1	3	2		
Suuret komponentit	3	3	1	1	2	2		
Turvallisuus	1	3	3	3	1	3		
Pienet eräkoot	3	1	3	3	1	3		
Jäysteettömyys	3	2	3	3	2	3		
Esivalmistelu (puhdistus)	1	1	1	2	3	3		
Asetusaika	2	2	2	2	2	3		
Ylösajo kustannusten hinta	3	1	3	2	1	3		
Jälkitarkastukset	1	1	3	3	1	3		
	53 %	65 %	84 %	76 %	63 %	94 %		

Opinnäytetyön aikana nousi esiin muutamia asioita, mihin pitäisi kiinnittää huomiota tulevaisuudessa. Näitä ovat esimerkiksi työkalujen käyttö komponenttia työstettäessä, työstöohjelmien ja ratojen järjestelmällisyys sekä syöttönopeudet. (Monteiro 2014, 108). Jos jäysteen muodostumista ei voida estää kokonaan

risteävässä reiässä, voidaan sen paksuutta ja sijaintia muuttaa poistamisen helpottamiseksi (Monteiro 2014, 102). Jäysteen koon minimoiminen esimerkiksi risteävässä reiässä onnistuisi ehkä suosituksen mukaan syöttönopeutta pienentämällä neljännekseen ennekuin pora lävistää samankokoisen tai isomman reiän. (Sandvik. 2020c).

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli jäysteenpoistomenetelmän suunnittelu Componenta Oy:n Kurikan koneistuksikölle. Yrityksessä oli muodostunut ongelmaksi manuaalinen jäysteenpoisto, minkä suorittaa tällä hetkellä koneistajat käsin. Se on aikaa vievää sekä epämiellyttävää työtä ja synnyttää nopeasti pullonkaulan tuotantoon. Manuaalisessa jäysteenpoistossa on myös tasaisen laadun saavuttaminen erittäin vaikeaa ja viallisia kappaleita voi syntyä helposti. Jäysteenpoiston haasteet ovat teräslohkojen tarkat laatukriteerit, jotka vaativat komponenttien jäysteettömyyden ja puhtauden. Myös komponenttien hankalat geometriat, kuten risteävät reiät ja poraukset, hankaloittavat jäysteiden poistoa merkittävästi käsin tehtäessä. Työn tavoitteena oli löytää uusille tuotantoon tuleville teräslohkoille menetelmä, joka olisi taloudellinen sekä automatisoitu. Lisäksi sen avulla pystyttäisiin lisäämään kapasiteettia tuotantoon ja ohjata työntekijäresursseja tuottavampaan työhön. Lastuamismenetelmien tutkiminen alkoi perehtymisellä jäysteen ja lastun syntymiseen ja muodostumiseen teräslohkoissa. Myös niiden aiheuttamiin ongelmiin perehdyttiin syvällisesti. Tämän jälkeen tutkittiin menetelmiä, jotka kykynevät jäystämään kierteitä vahingoittamatta niitä sekä risteäviä reikiä. Jäysteiden muodostumisen ymmärtäminen ja niiden erilaiset esiintymismuodot helpottivat työssä tutkittujen menetelmien valintaa.

Opinnäytetyö rajattiin kuuteen menetelmään, jotka kykynevät jäystämään sisäpuolisia geometrioita, joista kolme valittiin matriisin avulla lähempään tarkasteluun yrityksessä. Teoria osuudet koostuivat jäysteenpoistomenetelmien toimitaperiaatteen esittelystä, niiden rajoituksista ja hyödyistä sekä soveltuvuudesta jäystää teräslohkoja. Menetelmien lisäksi opinnäytetyössä esiteltiin investointilaskennan teoria ja jäysteenpoistotyökalut. Kaikista menetelmistä tehtiin matriisi, jossa pisteytettiin yrityksen näkökulmasta tärkeitä asioita jäysteenpoistossa ja laadun varmistuksessa. Matriisista oli tämän jälkeen helppo valita kolme sopivinta menetelmää yritykselle. AFM-menetelmä ei soveltunut yrityksen tarpeisiin, vaikka se oli matriisissa pisteytetty korkeammalle kuin robotisoitu. Syynä oli sen kyky jäystää vain yksittäisiä komponentteja kerrallaan sekä hidas työstöaika. Kolmesta valitusta menetelmästä tehokkain on terminen, jonka kokonaistyöstöaika riippuen jäysteiden paksuudesta on 30-90 sekuntia. Huonona puolena on sen kallis investointihinta,

joka koostuu jäysteenpoistouunista ja räjäytysprosessin jälkeen tarvittavasta pesurista. Taloudellisesta näkökulmasta hyvä vaihtoehto on koneistuskeskuksessa tapahtuva jäysteenpoisto, mutta kääntöpuolena on työstöaikojen pidentyminen ja tällöin mahdollinen pullonkaulan syntyminen tuotantoon. Mikäli koneistuskeskuksilla pidetään tuotantokapasiteetti maksimissa ja terminen menetelmä ei sovi yritykselle, on parempi vaihtoehto silloin robotisoitu jäysteenpoisto. Sen hyviä puolia manuaaliseen verrattuna olisi nopeampi jäystäminen, toistotarkkuus, viallisten kappaleiden vähentyminen, työturvallisuus ja monipuoliset työkalut. Myös matalat käyttökustannukset ovat hyviä puolia robotisoidussa menetelmässä. Tämän työn pohjalta voitiin rajata yritykselle nämä kolme jäysteenpoistomenetelmää, joista vertailemalla on mahdollista valita sopivin mahdollinen menetelmä heidän tarpeisiinsa ja myös laatia tarvittavat investointi ja- takaisinmaksulaskelmat tarkistamaan ja varmistamaan kannattavuutta.

LÄHTEET

Aks Teknik Deburring And Marking Technologies. 2020. FDT SX0 Flexible Deburring Tool. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.5.2020].

Saatavana: <https://aksteknik.com/portfolio/fdt-sx0-flexible-deburring-tool/>

Andersson, P.H. 1993. Lastuamisteoria. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

ATL Anlagentechnik Luhden GmbH. 2020. TEM machinery construction.

[Verkkosivu]. [Viitattu 12.4.2020] Saatavana: <https://atl-luhden.de/en/tem-machinery-construction/item-systems/>

Brush Research Manufacturing Co. 2020. Standard and Heavy Duty Flex-Hone.

[Verkkosivu]. [Viitattu 15.4.2020] Saatavana: <http://www.brushresearch.com/brushes.php?c1=2>

Bertsche, R.W. 2007. Why Use Waterjet Deburring? [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.4.2020].

Saatavana: <https://search-proquest-com.libts.seamk.fi/docview/219718186/fulltext/DDAE1E8F084C4E89PQ/1?accountid=27298>

Bertsche, R.W. 2009. High Pressure Water Deburring.[Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.4.2020].

Saatavana: <https://gearsolutions.com/features/high-pressure-water-deburring/>

Componenta Oyj. 2020. Yritysesittely Componenta 2020. PDF-tiedosto.

Dornfeld, D. 2004. Strategies for Preventing and Minimizing Burr Formation.

[Verkkojulkaisu]. California: University of California at Berkley. [Viitattu 5.5.2020]. Saatavana: <https://escholarship.org/uc/item/2239m1ns#main>

Delfoi. 2020. DELFOI CUT -OHJELMISTO. [Verkkosivu]. [Viitattu 9.4.2020].

Saatavana: <https://www.delfoi.com/fi/tuotteet/delfoi-robotics/delfoi-cut/>

Extrude Hone. 2016. EXTRUDE HONE All New Thermal Deburring Solution.

[Verkkosivu]. [Viitattu 13.4.2020]. Saatavana: <https://extrudehone.com/extrude-hone-new-thermal-deburring-solution>

Fastems Oy. 2020. Robotized Finishing Cell. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.6.2020].

Saatavana: <https://www.fastems.com/product/rfc/>

FMS-Tools Oy Ab. 2020. Jäysteenpoisto ja viimeistelytyökalut. [Verkkosivu].

[Viitattu 15.4.2020]. Saatavana: <https://www.fms-tools.fi/tuotteet/lastuavat-tyokalut/jaysteenpoisto-ja-viimeistely.html>

- Finnsonic. 2016. FINNSONIC OPTIMA Ultrasonic cleaning lines for manufacturing industries. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.4.2020]. Saatavana: <https://www.finnsonic.com/tuotteet>
- Genesis System. 2020. How Robotic Deburring Contributes to Productivity and Delivers ROI for Manufacturers. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.4.2020]. Saatavana: <https://www.genesis-systems.com/applications-processes/robotic-material-removal>
- Gupta, A.K., Arora, S.K. & Westcott, J.R. 2017. Industrial Automation and Robotics. [Verkkokirja]. Dulles: Mercury Learning and information LLC, . [Viitattu 10.4.2020]. Saatavana: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpIAR00001/viewerType:toc//root_slug:industrial-automation/url_slug:deburring?b-q=Deburring&b-subscription=true&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&issue_id=kt0119K6R2
- Gillespie, L.K. 1980. Deburring: technical capabilities and cost-effective approaches, Lessons 9 and 10. [Verkkojulkaisu]. Texas: University of North Texas. [Viitattu 20.4.2020]. Saatavana: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1067055/>
- Gillespie, L.K. 1999. Deburring & Edge Finishing Handbook. [Verkkokirja]. Dearborn: Society of Manufacturing Engineer (SME). [Viitattu 4.4.2020]. Saatavana: https://books.google.fi/books?id=gdq6qajiggoC&pg=RA1-PA1&hl=fi&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false
- Gillespie, L.K. 2003. Hand Deburring - Increasing Shop. [Verkkokirja]. Michigan: Society of Manufacturing Engineer (SME). [Viitattu 6.4.2020]. Saatavana: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpHDISP005/viewerType:toc//root_slug:viewerType%3Atoc/url_slug:root_slug%3Ahand-deburring-increasing?kpromoter=federation
- Halladay, J. 2011. Practical applications of thermaldeburring and electrochemical deburring. [Verkkojulkaisu]. Ohio: PMPA National Technical Conference. [Viitattu 14.4.2020]. Saatavana: <https://www.productionmachining.com/cdn/cms/uploadedFiles/Practical%20Applications%20of%20TD%20and%20ECD%202011.pdf>
- Harvey Performance. 2018. Why You Should Stop Deburring By Hand. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.5.2020]. Saatavana: <https://www.harveyperformance.com/in-the-loupe/stop-deburring-by-hand/>
- Hoffmann Group GmbH. 2020. Katalogi. [Verkkosivu]. Saatavana: https://ecatalog.hoffmann-group.com/index.html?country=fin_FI_FIE/catalogs/&catalog=90000002#page_394

- Ikäheimo, S., Malmi, T & Walden, R. 2019. Yrityksen laskentatoimi. [Verkkokirja]. Helsinki: Alma Talent Oy. [Viitattu 27.5.2020]. Saatavana: [https://verkkokirjahylly-almatalent-fi.libts.seamk.fi/teos/JACBIXDTEB#/kohta:YRITYKSEN\(\(20\)LASKENTATOIMI\(\(20\)/piste:b4](https://verkkokirjahylly-almatalent-fi.libts.seamk.fi/teos/JACBIXDTEB#/kohta:YRITYKSEN((20)LASKENTATOIMI((20)/piste:b4)
- Järvenpää, M., Länsiluoto, A., Partanen, V & Pellinen, J. 2017. Talousohjaus ja kustannuslaskenta. [Verkkokirja]. Helsinki: Sanoma Pro Oy. [Viitattu 2.5.2020]. Saatavana: <https://www.ellibslibrary.com/book/978-952-63-2005-2>
- Kramer Industries Inc. 2020. Robotics vs. Manual Deburring Process. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.6.2020]. Saatavana: <https://www.kramerindustriesonline.com/robotics-vs-manual-deburring-process/>
- Karnasch Tools. 2020. Burrs, rotary burrs. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.4.2020]. Saatavana: <https://karnasch.tools/en/burrs-rotary-burrs>
- Kemet International Limited. 2019. Back Burr Cutter and Path for Deburring after Drilling. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.4.2020]. Saatavana: <https://www.kemet.co.uk/products/deburring/back-burr-cutter-and-path>
- Lestoprex AG. 2020. Deburring Tools. [Verkkosivu]. Saatavana: <https://lestoprex.swiss/en/tools/deburring-tools/deburring-tools/>
- Low, K. 2007. Industrial Robotics – Programming, Simulation and Applications. [Verkkokirja Germany: Advanced Robotic Systems International. [Viitattu 15.4.2020]. Saatavana: https://books.google.fi/books?id=xj37AX_VqHYC&printsec=frontcover&hl=fi#v=onepage&q&f=false
- Manganorobot US Inc. 2020. Advanced solutions for industrial automation. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.6.2020]. Saatavana: <https://www.manganorobot.com/en>
- Marinescu, I.D., Rowe, W.B., Dimitrov, B., & Inasaki, I. 2004. Tribology of Abrasive Machining Processes. [Verkkojulkaisu]. New York: Noyes Publications William Andrew Publishing, .[Viitattu 26.4.2020]. Saatavana: <https://www.sciencedirect.com/sdfe/pdf/download/eid/3-s2.0-B9780815514909500128/first-page-pdf>
- Min, S. & Dornfeld, D. 2004. Current Advanced Research Projects in Burr Formation and Deburring. [Verkkojulkaisu]. Virginia: AMT – The Association for Manufacturing Technology. [Viitattu 23.4.2020]. Saatavana: <http://www.amtonline.org/TechnologyandStandards/TechnologyReports/tech-assessment-burr-formation-deburring.download>
- Miller, T. 2016. Seco Tools LLC How to Best Deal With (Part) Rejection. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.4.2020]. Saatavana:

<http://cuttingedgeconversation.blogspot.com/2016/01/how-to-best-deal-with-part-rejection.html>

- Monteiro, W.A. 2014. Light Metal Alloys Applications. [Verkkokirja]. Croatia: InTech. [Viitattu 24.5.2020]. Saatavana: https://books.google.fi/books?id=wDehDwAAQBAJ&pg=PA113&lpg=PA113&dq=The+disadvantages+of+deburring+in+the+machining+center+are+the+creation+of+new+burrs&source=bl&ots=Y5p_ysWKLD&sig=ACfU3U12Rwzk_y4yMeMGPOV-OOB0276KVg&hl=fi&sa=X&ved=2ahUKEwju_x_8vpAhXxsYsKHXYqC8gQ6AEwAHoECAYQAAQ#v=onepage&q=The%20disadvantages%20of%20deburring%20in%20the%20machining%20center%20are%20the%20creation%20of%20new%20burrs&f=false
- Niknam, S.A. & Songmene, V. 2014. Milling burr formation, modeling and control: A review. [Verkkojulkaisu]. Montreal: Journal of Engineering Manufacture. [Viitattu 29.4.2020]. Saatavana: https://www.researchgate.net/publication/269865192_Milling_burr_formation_modeling_and_control_A_review
- Niknam, S.A., Davoodi, B., Davim, J.P & Songmene, V. 2017. Mechanical deburring and edge-finishing processes for aluminum parts. [Verkkojulkaisu]. London: Springer-Verlag London Ltd. [Viitattu 21.4.2020]. Saatavana: https://www.researchgate.net/publication/320932827_Mechanical_deburring_and_edge-finishing_processes_for_aluminum_parts-a_review
- Odham, A. 2007. Successful robotic deburring is really a matter of choices. [PDF-tiedosto]. [Viitattu 16.4.2020]. Saatavana: http://atiindustrialautomation.com/Library/documents/ATI_Robotic_Deburring_Making_Choices.pdf
- Ravi, M.R., Jain, V.K. & Ramkumar, J. 2011. Abrasive flow machining (AFM): An Overview. [Verkkojulkaisu]. India: Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology. [Viitattu 19.4.2020]. Saatavana: https://www.researchgate.net/publication/228747468_Abrasive_flow_machining_AFM_An_Overview
- Rooks, A. 2017. What Machine Shops Need to Know about Deburring. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.4.2020]. Saatavana: <https://www.sme.org/technologies/articles/2017/may/machine-shops-need-know-deburring/>
- Robotworx. 2020. Benefits of Robotic Deburring. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.4.2020]. Saatavana: <https://www.robots.com/articles/benefits-of-robotic-deburring>
- Sandvik. 2020a. Eri materiaalien jyrsinnän perusteet. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.4.2020]. Saatavana: <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/milling/pages/milling-different-materials.aspx>

- Sandvik. 2020b. Jyrsinnän laskukaavoja ja määritelmiä. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.4.2020]. Saatavana: <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>
- Sandvik. 2020c. Risteävät reiät. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.5.2020]. Saatavana: <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/drilling/pages/irregular-surface-drilling.aspx>
- Scheider, A.F. 1990. Mechanical Deburring and Surface Finishing Technology. [Verkkokirja]. New York: Marcel Dekker, INC. [Viitattu 24.5.2020]. Saatavana: <https://books.google.fi/books?id=03dkGxXKu6QC&pg=PA148&lpg=PA148&dq=advantages+in+mechanical+deburring+is+no+need+to+remove+part+for+deburr&source=bl&ots=jsRySSTWAJ&sig=ACfU3U1ZrEYNQ370mlb967jW-Qs5QpUiDg&hl=fi&sa=X&ved=2ahUKEwigqK7JhMzpAhXillsKHS-7BEYQ6AEwDnoECAoQAQ#v=onepage&q=advantages%20in%20mechanical%20deburring%20is%20no%20need%20to%20remove%20part%20for%20deburr&f=false>
- Sugino Corp. 2020. Barriquan Self-Compensating Deburring Tools. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.4.2020]. Saatavana: <https://catalog.suginocorp.com/viewitems/all-categories/barriquan-self-compensating-deburring-tools>
- Weiler Abrasives Group. 2019. AUTOMATED DEBURRING WITH BRUSHES. [Verkkokirja]. [Viitattu 24.5.2020]. Saatavana: https://www.weilerabrasives.com/UserFiles/Resources/Products/WC/38/6/_WC386_Auto_Deburring_Brochure_D.pdf
- Whitney Tool Company inc. 2020. Whitney Tool Catalog. [Verkkosivu]. [Viitattu 12.4.2020]. Saatavana: <https://www.whitneytool.com/PDF/WhitneyCatalog.pdf>
- Würth Oy. 2020. Senkkausterät. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.4.2020]. Saatavana: <https://eshop.wurth.fi/Kategoriat/Senkkausteraet/3106750703.cyd/3106.cgid/fi/FI/EUR/>
- Yaskawa Europe GmbH. 2020. Welding cell MOTO-Compact RVE. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.6.2020]. Saatavana: https://www.yaskawa.eu.com/systems/robotic-systems/productdetail/product/welding-cell-moto-compact-rve_764

LIITTEET

